



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
Escuela Politécnica Superior

Doctorado en Ingeniería Informática
Tesis Doctoral

Un marco de trabajo para la evaluación predictiva de Sistemas de
Notificación en el campo de la aviónica

Autor: D. Miguel Ángel Sánchez- Puebla Rodríguez

Director: Dr. D. Ignacio Aedo Cuevas

Índice

ÍNDICE	2
LISTA DE TABLAS	3
LISTA DE FIGURAS	3
LISTA DE ECUACIONES	4
RESUMEN	6
PALABRAS CLAVE	12
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. CONTEXTO	13
1.2. OBJETIVO	17
1.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.4. APORTACIONES ESPERADAS	19
1.5. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.....	21
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN	23
2.1. INTERACCIÓN HUMANO-MÁQUINA Y USABILIDAD	23
2.2. SISTEMAS CRÍTICOS Y SISTEMAS DE NOTIFICACIÓN	24
2.3. EVALUACIÓN DE USABILIDAD.....	28
2.4. TAXONOMÍAS DE MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE USABILIDAD	29
2.5. MICROTEORÍAS Y MACROTEORÍAS EN LOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN EN IHC.....	33
2.6. EVALUACIÓN PREDICTIVA (PARÁMETROS CRÍTICOS).....	44
2.7. PARADIGMAS DE DISEÑO VS. REQUISITOS.....	45
3. PLANTEAMIENTO Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	52
4. LA SOLUCIÓN PROPUESTA: UN MARCO DE EVALUACIÓN PREDICTIVA PARA AVIÓNICA	55
4.1. VISIÓN GLOBAL DE LA PROPUESTA	56
4.2. HEURÍSTICAS APLICABLES	65
4.3. MODELO PREDICTIVO BASADO EN LOS PARÁMETROS CRÍTICOS QUE CARACTERIZAN LOS SISTEMAS DE NOTIFICACIÓN EN LOS SISTEMAS CRÍTICOS	69
4.4. INFORMES PROPORCIONADOS POR EL MARCO DE EVALUACIÓN PREDICTIVO	121
4.5. CARACTERIZACIÓN DE LAS INTERFACES DE LOS SISTEMAS DE NOTIFICACIÓN EN SISTEMAS CRÍTICOS DE AVIÓNICA.	122
4.6. EVALUACIÓN GENÉRICA DE USABILIDAD.....	132
4.7. EVALUACIÓN DE INSTALACIÓN Y SEGURIDAD DEL USUARIO	137
4.8. FORMALIZACIÓN MATEMÁTICA	141
4.9. QUIÉN DEBE LLEVAR A CABO LA EVALUACIÓN.....	145
4.10. PATRONES DE EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE NOTIFICACIÓN PARA SISTEMA CRÍTICOS	146
5. EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA	149
5.1. AUTOMATIZACIÓN DEL MARCO DE EVALUACIÓN PROPUESTO.....	149
5.2. VALIDACIÓN FORMAL DEL MARCO.	151
5.3. VALIDACIÓN EMPÍRICA DEL MARCO DE EVALUACIÓN.....	159
5.4. APLICACIÓN DEL MARCO DE EVALUACIÓN A UN CICLO DE DISEÑO EN AVIÓNICA.	184
6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	190
6.1. CONCLUSIONES	190
6.2. APORTACIONES LOGRADAS	193
6.3. LÍNEAS FUTURAS	194
7. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	196
8. ANEXOS	213
I. INTERFAZ DEL MARCO DE EVALUACIÓN	213

II. EJEMPLO DE CARACTERIZACIÓN XML DE UN SNA	215
III. CARACTERIZACIÓN XSD DE UN COMPONENTE DE INTERFAZ PARA UN SISTEMA DE NOTIFICACIÓN EN AVIÓNICA.	220
IV. CARACTERIZACIÓN DTD DE UN COMPONENTE DE INTERFAZ PARA UN SISTEMA DE NOTIFICACIÓN EN AVIÓNICA.	235
V. PROPUESTA DE EXPERIMENTOS	240
1. PARÁMETRO 1: COMPLEJIDAD Y SOBRECARGA EN LA INFORMACIÓN.....	240
2. PARÁMETRO 2: MULTITAREA.....	240
3. PARÁMETRO 3: COMPORTAMIENTOS MODALES, MÚLTIPLES OPCIONES Y HÁBITOS.	240
4. PARÁMETRO 4: CONTEXTO Y SITUACIONES ANORMALES.....	240
5. PARÁMETRO 5: DEGRADACIÓN Y PÉRDIDA DE RENDIMIENTO.....	240
6. PARÁMETRO 6: INTERFAZ COMPARTIDA POR MÁS DE UN USUARIO.....	243
VI. RESULTADO DE LA APLICACIÓN DEL MARCO DE EVALUACIÓN A LA INTERFAZ DEL A400M.....	244
- COMPONENTES	244
- SEMIÓTICA	244
- REPETICIÓN	247
- REDUNDANCIA	248
- EXISTENCIA DE MODOS.....	251
- SOBRECARGA DE COMPONENTES	252
- INTERFERENCIAS ENTRE TAREAS Y PRINCIPIO DE INHIBICIÓN	253
- PERCEPCIÓN SENSORIAL.....	366

Lista de Tablas

Tabla 1 Clasificación del software según su criticidad [ARINC 1992a].....	14
Tabla 2 Subsistemas ICS	40
Tabla 3 Clasificación de accesibilidad visual.....	50
Tabla 4 Clasificación de accesibilidad auditiva.....	51
Tabla 5 Clasificación de accesibilidad táctil	51
Tabla 6 Clasificación de accesibilidad visual según la prioridad de la notificación.....	67
Tabla 7 Clasificación de accesibilidad auditiva de un componente según la prioridad de la notificación	68
Tabla 8 Clasificación de accesibilidad táctil de un componente según la prioridad de la notificación.....	68
Tabla 9 Principales características de cada escenario y duración de cada uno de ellos.....	72
Tabla 11 Niveles de prioridad de una notificación	114
Tabla 12 Combinación de colores permitidos	134
Tabla 13 Código de colores y atributos.....	136
Tabla 14 Tamaño mínimo en función de la distancia en condiciones de iluminación normal [HFDS 2003]...	137
Tabla 15 Tamaño en función del lugar de instalación.....	137
Tabla 16 Cumplimiento de los parámetros críticos respecto al criterio de validez	155
Tabla 17 Cumplimiento de los parámetros críticos respecto al criterio de consistencia.....	156
Tabla 18 Cumplimiento de los parámetros críticos respecto al criterio de capacidad de discriminación.....	156
Tabla 19 Cumplimiento de los parámetros críticos respecto al criterio de seguimiento.....	157
Tabla 20 Cumplimiento de los parámetros críticos respecto al criterio de previsibilidad	157
Tabla 21 Cumplimiento de los parámetros críticos respecto al criterio de repetición	158

Lista de Figuras

Figura 1 Incremento de la complejidad del software en sistemas críticos de avión [Romansky 2000].....	14
Figura 2 SOAR como lenguaje de programación.....	36
Figura 3 Entorno de desarrollo para SOAR.....	37
Figura 4 Arquitectura EPIC.....	38
Figura 5 Arquitectura ICS	39
Figura 6 Modelo cognitivo de los Recursos Múltiples por etapas [Wickens y Hollands 2000].....	41
Figura 7 Accesibilidad en una cabina de avión típica de la familia Airbus ©.....	49
Figura 8 Marco de evaluación predictiva para un SNA	56
Figura 9 Descripción de los principales componentes de la interfaz de la planta de potencia del A400M	60

Figura 10 Diagrama de clases simplificado del modelo predictivo de evaluación	61
Figura 11 Informes proporcionados por el marco de evaluación	62
Figura 12 Escenarios empleados en la evaluación de la interfaz del A400M.....	71
Figura 13 Relación de los parámetros críticos de un SNA con el modelo de recursos limitados.....	74
Figura 14 Flujo de atención en la interrupción en el modelo de Recursos Múltiples	76
Figura 15 Flujo de atención en la reacción en el modelo de Recursos Múltiples	77
Figura 16 Flujo de la atención en la comprensión en el modelo de Recursos Múltiples	77
Figura 17 Teoría de Detección de la Señal en Sistemas de Notificación	80
Figura 18 Teoría de Detección de la Señal en Sistema de Notificación en Aviónica.....	81
Figura 19 Variación del número de bits de la información transmitida con el número de dimensiones	86
Figura 20 Relación entre el tiempo de entrenamiento y la razón de transferencia efectiva	91
Figura 21 Modelo tri-dimensional de los Recursos Múltiples [Wickens 2002]	93
Figura 22 La carga de trabajo en función del conjunto de tareas	95
Figura 23 Relación entre calidad de uso y habilidades cognitivas del usuario.....	98
Figura 24 Variación de la usabilidad (calidad de interacción) q con el esfuerzo E	100
Figura 25 Adaptación del principio " Trabaja duro para acabar antes"	101
Figura 26 Solapamiento de dos notificaciones	113
Figura 27 Principio de inhibición	116
Figura 28 Arriba: Cursor activo e inactivo del usuario principal	119
Figura 29 Componentes HCI de 1 bit para un SNA	123
Figura 30 Matriz representativa.....	141
Figura 31 La usabilidad puede medirse indirectamente a partir de n parámetros críticos	154
Figura 32 Interfaz del SNA del A340.....	161
Figura 33 Cabina del A380.....	165
Figura 34 Detalle de los Parámetros primarios del SNA del A380	166
Figura 35 Fondo en notificaciones para asegurar el principio ‘reconocimiento antes que recuerdo’	166
Figura 36 Cuestionarios NASA-TLX para la evaluación subjetiva de la carga de trabajo	167
Figura 37 Resultados de la evaluación de usabilidad del A380 basada en medidas subjetivas.....	168
Figura 38 Resultado de la evaluación del A380 clasificada por usuarios.....	168
Figura 39 Maqueta del A400M	173
Figura 40 Disposición física de los elementos en la maqueta	174
Figura 41 Detalle de los elementos que componen la pantalla del SNA del A400M.....	176
Figura 42 Evaluación de usabilidad en tareas de seguimiento, monitorización, respuesta y comunicación.	177
Figura 43 Evaluación de usabilidad en porcentaje	178
Figura 44 Usuarios evaluando la maqueta del A400M.....	179
Figura 45 Evaluación de usabilidad basada en la medida de los latidos del corazón del usuario.....	179
Figura 46 Medidas de usabilidad basada en la variación de los latidos del corazón del usuario.....	180
Figura 47 Medidas obtenidas en la evaluación de usabilidad del SNA del A400M.....	181
Figura 48 Aplicación del marco de evaluación al ciclo de vida "V&V."	185

Lista de ecuaciones

Ecuación 1 Coste de la notificación, para un escenario y contexto específicos	70
Ecuación 2 Media de la información enviada en una notificación para todos los posibles escenarios.....	83
Ecuación 3 Carga de información para un rango de valores numéricos (V_{max} , V_{min}) con una resolución Δ	84
Ecuación 4 Carga de información en rangos discretos con n eventos distintos y equiprobables.....	84
Ecuación 5 Definición de la redundancia de un mensaje	85
Ecuación 6 Razón de Transferencia Efectiva	90
Ecuación 7 Carga de trabajo definida como relación entre el tiempo requerido y el tiempo disponible.....	92
Ecuación 8 Carga de trabajo expresada como el número de tareas realizado por unidad de tiempo.....	94
Ecuación 9 Carga de trabajo debida a la interacción con una interfaz	95
Ecuación 10 El esfuerzo o demanda de recursos representa el área bajo la función carga de trabajo.	96
Ecuación 11 Límite superior de los recursos demandados en un conjunto de tareas	96
Ecuación 12 Demanda de recursos en función de la trayectoria	96
Ecuación 13 Variación de la usabilidad en función de los recursos demandados y del tiempo empleado	96
Ecuación 14 Variación de la usabilidad en función de las habilidades cognitivas del usuario.....	97
Ecuación 15 Variación de la calidad de interacción con la demanda de recursos	97
Ecuación 16 La calidad aumenta al aumentar los recursos y el tiempo de uso,	97

Ecuación 17 Relación de Maxwell para la calidad de uso, el esfuerzo y el tiempo.....	97
Ecuación 18 Aumento de la calidad de interacción	98
Ecuación 19 Los recursos demandados disminuyen al aumentar el tiempo de interacción.....	98
Ecuación 20 Modelización de la usabilidad en un SNA.....	99
Ecuación 21 El conjunto de tareas t_N correspondiente a un SNA.....	102
Ecuación 22 La demanda total tiene como límite superior.....	102
Ecuación 23 Límite superior de la carga de trabajo.....	103
Ecuación 24 Fórmula mejorada del coste mínimo de la interrupción.....	104
Ecuación 25 Los coeficientes de interferencia son disjuntos.....	106
Ecuación 26 Los coeficientes ponderados son siempre menores que 1.....	107
Ecuación 27 Parámetro 1 normalizado	141
Ecuación 28 Parámetro 2 normalizado	142
Ecuación 29 Parámetro 3 normalizado	142
Ecuación 30 Parámetro 4 normalizado	142
Ecuación 31 Parámetro 5 normalizado	142
Ecuación 32 Función caracterización de una interfaz	143
Ecuación 33 Función evaluación de la interfaz de un SNA.....	143
Ecuación 34 Capacidad de un evaluador de encontrar un problema	145

Resumen

Es inaudito encontrar un sistema de cualquier tipo basado en computadores en el que el humano no interactúe con él. Incluso aunque se trate de una comunicación exclusivamente entre dos computadores, normalmente se incluye una interfaz que permita solucionar el enlace entre máquinas cuando aparece algún problema [Mulligan et al. 1991].

El usuario, como ser humano, necesita **información**, lo que se considera una de las pocas constantes en nuestro mundo, independientemente de la cultura a la que pertenezca o en el instante de tiempo en el que transcurra su actividad. Esta necesidad se combina con la ocupación del usuario en otras tareas que requieren su atención, de forma que hay al menos dos focos de atención que compiten por el bien máspreciado de cualquier interfaz humano-computador: la **atención del usuario**.

La existencia de diferentes escenarios, en las que el usuario espera resultados diferentes y consecuencias distintas ante la existencia de un error controla la aparición de distintos tipos de aplicaciones y dispositivos para soportar las demandas del usuario en condiciones de multitarea. En estos sistemas, conocidos como **Sistemas de Notificación**, las interfaces están diseñadas como un medio para acceder a información valiosa para el usuario de una forma efectiva y eficiente sin introducir interrupciones no deseadas en la ejecución de la tarea principal. Pueden encontrarse numerosas implementaciones de Sistemas de Notificación en una gran variedad de plataformas. Quizás en los sistemas de sobremesa son más fácilmente identificables: servicios de mensajería instantánea, aplicaciones que muestran el estado de un sistema, servicios de noticias e indicadores de cantidades almacenadas. Otros ejemplos familiares pueden encontrarse en procesos industriales y tecnológicos como la cadena danzante de Weiser como representación del tráfico de una red [Weiser y Brown 1996], los sistemas de información embarcados en vehículos, los sistemas incorporados en los vehículos para proporcionar información de los sistemas, los sistemas que proporcionan información sobre el entorno, los sistemas multi-monitor que indican los excesos de rango de un sistema y las cabinas de los aviones modernos.

De otro lado, un sistema se considera **crítico** cuando un único fallo debido al sistema, al usuario o al modo en el que el usuario realiza las tareas para las que el sistema se diseñó, puede producir daños graves en el sistema, en su entorno o, aún más grave, en los usuarios del sistema. Ejemplos de este tipo de sistemas pueden encontrarse en los aviones, correspondiéndose con sistemas manejados por usuarios muy especializados.

Genéricamente hablando, la **evaluación de usabilidad** incluye un amplio rango de métodos y técnicas usados por los evaluadores para evaluar, cualitativa o cuantitativamente, distintos aspectos relacionados con la usabilidad. Como soporte al diseño, la evaluación debe permitir, en primer lugar, la verificación de las decisiones de diseño y en segundo lugar elegir entre varias alternativas.

Aunque se le conceda gran importancia, la evaluación de cualquier sistema está poco implantada como un proceso más en el ciclo de vida de un producto, ya que se suele considerar un proceso costoso, en tiempo y recursos, y que no añade ningún valor al producto.

La evaluación de la interfaz humano-computador permite la comparación de distintas alternativas de diseño de sistemas y, en último lugar, determinar qué sistema es mejor. Por tanto, la evaluación debe proporcionar medidas cuantitativas para determinar la usabilidad de una interfaz y comparar dos interfaces distintas de forma objetiva.

Aunque los usuarios de computadores están habituados al uso de Sistemas de Notificación, su evaluación está limitada a probar el valor intrínseco de paradigmas aislados de diseño basados en una única implementación. La evaluación de usabilidad de los Sistemas de Notificación está muy poco desarrollada en las interfaces de propósito general y, particularmente, en las interfaces de los sistemas críticos. Las únicas experiencias disponibles

están basadas en datos empíricos reducidos en entornos simulados y en el seguimiento de ciertas guías de diseño probadas por la experiencia. Estas guías proceden de aplicaciones militares y, aunque pueden ser cuestionadas desde el punto de vista de las ciencias cognitivas, están ampliamente aceptadas en el diseño de interfaces para Sistemas de Notificación críticos.

Los diseñadores de estos sistemas pueden, razonablemente, rechazarlas basándose en su experiencia y en su juicio. Si no existe una evaluación cuantitativa basada en modelos cognitivos entonces el evaluador no puede ser capaz de determinar científicamente los errores en la interfaz. De hecho, puede llegarse a la situación sin salida en la que se enfrenten el juicio y el conocimiento del diseñador con los del evaluador.

Esta situación puede resolverse con un **marco de evaluación** que proporcione datos cuantitativos que muestren si una alternativa de diseño es mejor que otra, basado en principios objetivos.

El diseño y la evaluación de las interfaces humano-computador han evolucionado mucho más rápidamente que las teorías basadas en la psicología y la ciencia cognitiva y aún existen un gran número de problemas por resolver. Así, el diseño de interfaces ha evolucionado desde los editores de líneas y aplicaciones a medida con interfaces muy reducidas basadas en crípticos comandos de línea hasta las interfaces WIMP (*Windows-Icons-Menus-Pointers*), los sistemas de recuperación de la información, los agentes inteligentes, los servidores CSCW (*Cooperative and Shared Computer Works*), los entornos virtuales, la realidad aumentada, los bits tangibles, la computación ubicua, la web y los múltiples tipos de interfaces capaces de hablar y mostrar emociones. Mientras tanto, la evaluación de la usabilidad ha evolucionado basada principalmente en heurísticas y en la evaluación empírica [Nielsen 1993; Dix et al. 2003]. La evaluación basada en la teoría ha sido considerada de un valor muy limitado [Landauer 1987] debido a su reducido ámbito de aplicación, aplicable únicamente a características propias de una interfaz y con una capacidad muy reducida para ser aplicada en otros diseños del mundo real, alejado de los laboratorios. Aunque se están realizando grandes esfuerzos para desarrollar teorías que cubran un amplio rango de tópicos, la mayor parte de ellas son solamente ajustes para explicar aplicaciones del día a día [Rudisill et al. 1996].

Actualmente la medida de prestaciones no se realiza frente a **requisitos específicos** previos al diseño. Es notable la ausencia de este tipo de requisitos en el ciclo de vida para el desarrollo de una interfaz humano-computador. En estos casos, se puede introducir un conjunto de **parámetros críticos** que permita definir las unidades de medida [Newman et al. 2000]. Estos parámetros son críticos porque el éxito o el fracaso del diseño dependen de forma crítica del cumplimiento de los objetivos fijados para estos parámetros.

Los parámetros críticos permiten formalizar un espacio de diseño en el que se re-usa el conocimiento [Cheward et al. 2004], expresando los problemas asociados a una interfaz con un lenguaje consistente y que permite a los expertos expresar juicios a través de una 'evaluación medida' [Carroll et al. 1992].

El principal objetivo de esta tesis es desarrollar un marco de evaluación predictiva para Sistemas de Notificación en Aviónica (SNA) basado en las teorías cognitivas, que pueda proporcionar datos cualitativos y cuantitativos que permita a los diseñadores y evaluadores de interfaces averiguar si la interfaz sea usable antes de construirlo. De este modo, el diseñador de interfaces puede ser capaz de introducir la evaluación como patrones de diseño de la interfaz humano-computador sin requerir recursos adicionales.

En esta tesis, la aproximación a la evaluación de la interfaz humano-computador de los Sistemas de Notificación para sistemas críticos en aviónica se propone en varios pasos. En primer lugar se establecen un conjunto de parámetros críticos basado en los modelos psicológicos, para después, realizar una evaluación predictiva de la usabilidad basada en la cuantificación de estos parámetros y, finalmente, aplicar de forma incremental las guías de diseño basándose en una estrategia de escenarios. Esta aproximación permitirá una evaluación sistemática garantizando, por un lado, centrarse en el diseño en términos de objetivos cuantificables, independientemente del evaluador y del usuario y, por otro lado, mejorar de forma continua y agregativa los diseños específicos aplicables a un problema determinado.

En esta tesis, la principal contribución es la **formalización matemática** de cada uno de los parámetros críticos seleccionados para llevar a cabo la evaluación de usabilidad de las interfaces de Sistemas de Notificación integrados en sistemas críticos. El objetivo de esta tesis es conseguir una función de evaluación Φ , tal que aplicada a la interfaz del sistema de notificación permita obtener datos numéricos en el dominio de los números reales.

Formalmente, el objetivo es obtener

$$\forall I \quad \exists \phi / \Phi(I) \mapsto \mathcal{R}$$

Donde I es la interfaz del sistema de notificación y Φ es la función de evaluación de la usabilidad que produce como resultado un número real.

Para evaluar la validez de este marco de evaluación es aplicado a la interfaz de la planta de potencia de dos aviones modernos y a la interfaz de control de la planta de potencia de un avión de transporte militar.

La aplicación de este marco de evaluación está basada en la ejecución de tests automáticos implementados en Ada95 aplicados a una caracterización XML de las interfaces.

Abstract

It's unheard-of to find any system of any kind, whether critical or not, based on computer with no human interaction. Even though it will be a system related with the communication between two computers it is mostly used to find an interface allowing to solve any problem related with the link between computers [Mulligan et al. 1991].

The user of a computer interface, as any human being, needs **information**, which is considered one of the few constants in our every day world, whatever his culture or activity. This need plays together with other tasks the user has to perform in such a way that there are at least two systems competing for the most appraised resource at any human-computer interface: the **user attention**.

Different usage situations, expectations, and error consequences govern the growing breed of applications and devices being introduced to support multitasking information demands. Referred to as **notification systems**, these interfaces are generally desired as a means to access valued information in an efficient and effective manner without introducing unwanted interruption to a primary task. They can be found in many implementation forms and on a variety of platforms. Perhaps classic desktop systems are the most readily identifiable— instant messengers, status programs, and news and stock tickers. Other familiar examples such as Weiser's dangling string representation of network, in-vehicle information systems, ambient media, multi-monitor displays hint at the potential range of systems and modern aircraft cockpit.

While use of these systems and the range of solutions have skyrocketed, our ability to scientifically recognize, pattern, and improve success within the HCI community has not kept pace. There are surprisingly few efforts in the literature that effectively evaluate usability of the information and interaction design for notification systems.

On the other hand, a system will be considered as critic when a sole failure due to the system, the user, or the way the user executes the tasks that the system is designed for could produce serious damage to the system itself, in its surrounds or even tragic damage to the user. Examples of this kind of system can be found on many aircrafts corresponding to critical systems handled by very specialized users.

Generically **usability evaluation** includes a spread set of methods and techniques used by evaluators for examining, qualitatively or quantitatively, several aspects related with usability. As support to the design, evaluation will allow firstly verification of design decisions and secondly to choose among possible alternatives.

Although evaluation is recognized as very valuable it is rarely introduced in the design cycle of a product and it is deemed as very hard in terms of time and resources and what is worse is that it does not add any value to the product.

Human-computer interface evaluation permits the comparison of different systems and ultimately to determine which system is better. Therefore evaluation shall provide direct measurement units to determine the interface usability and to compare two interfaces objectively.

Even though computer users are extensively used for notification systems their evaluation is limited to probe the intrinsic value of some isolated paradigms of design based in a single implementation. The evaluation of notification systems is poorly developed on interfaces for systems in general and extremely rare in critical systems. The only available experiences are based on empirical data on simulated environments and the follow-up of some guidebooks probed by the experience. Those guidebooks come from military applications and even they can be questioned from the cognitive science point of view. These guidebooks are mostly accepted on interface user design for notification critical systems.

The designer of these interfaces can justifiably reject them based on his experience and judgement. If there is no quantitative evaluation based on cognitive models then the evaluator

will never be able to scientifically determine the errors in the interface. A situation can be reached with no way out, with the designer and the evaluator set against each other with conflicting needs.

This situation can be resolved with an evaluation framework, which provides quantitative data showing whether one design is better than the other based on objective principles.

Design and evaluation of human-computer interfaces have evolved much faster than theories based on psychology and cognitive science and still there are a number of issues that remain unresolved.

The design has evolved since line editors and customized application with interfaces reduced to very cryptic line commands up to interfaces WIMP (Windows-Icons-Menus-Pointers), information recovery systems, smart agents, CSCW (Cooperative and Shared Computer Works) servers, virtual environments, augmented reality, tangible bits, ubiquitous computation, the web and many types of interfaces able to talk and show emotions. Usability evaluation has evolved based only on heuristics and empirical evaluation [Nielsen 1993; Dix et al. 2003]. Evaluation based on theory has been considered as being of very limited value [Landauer 1987] due to the fact that it has a very limited scope and application areas, applicable only to local features of an interface and with a very reduced capacity to be re-used on other designs in the real world, far away from laboratories. Although a big effort is paid for developing theories covering a wide set of topics most of them are only adjustments so as to explain every day applications.

Currently, the performance measurements are not done against **specific requirements** prior to design. It is notable that there is an absence of this kind of requirements in a human-computer interface development life cycle. In case of absence of performance requirements a set of **critical parameters** could be introduced in order to define measurement units [Newman et al. 2000]. These parameters are so called critical because the success or failure of a design will depend critically whether the fixed objectives are fulfilled or not.

Critical parameters allow formalising a design space [Cheward et al. 2004] which allocates acknowledge re-use, expressing interface problems with a consistent language and let experts to express judgements through a mediated evaluation [Caroll et al. 1992].

The main objective of this thesis is to develop a framework of predictive evaluation for notification system on avionics (NSA) (from aviation electronics) based on cognitive theories which can bring both quantitative and qualitative data which allow interface designers and evaluators to guess whether the system will be usable before it is built. The interface designer will be able to include evaluation on the Human-Computer Interface pattern design without adding any additional resources.

In this thesis the approach to usability evaluation for the design of Human-Computer Interface of notification systems for critical design in avionics is proposed in several steps. Firstly to establish the set of critical parameters based on psychological models, then to carry out a predictive usability evaluation based on the quantification of these parameters and finally to apply in an incremental way the design guidelines based on a scenario strategy. This approach will allow a systematic evaluation, achieving on one side to focalize the design in term of quantifiable objectives independently of the evaluator and the user and, on other side improving in a continuous and aggregative way the different designs applicable on a specific problem.

In this thesis, the main contribution is a **mathematical formalization** of each critical parameter for carrying out quantitative usability evaluation on interfaces for notification systems integrated on critical system. The objective is to reach an evaluation function Φ in such a way that applied to the interface of a notification system I it will permit to get quantitative data on the real numbers domain.

Formally the objective is to obtain

$$\forall I \quad \exists \phi / \Phi(I) \mapsto \mathfrak{R}$$

Where I is the interface of the notification system and Φ is the usability evaluation function which produce a real number.

To evaluate the validity of this framework it will be applied to two power plant control interfaces of modern aircrafts and to a power plant control interface to be implemented in a military transport aircraft.

The application of this framework is based on the execution of automatic test implemented on Ada95 applied to a XML characterization for the interfaces.

Palabras clave

Interacción Humano-Computador, Interfaz de usuario, Factores Humanos, Usabilidad, Evaluación, Evaluación Predictiva, Evaluación automática, Parámetros críticos, Ciencia Cognitiva, Sistema Crítico, Sistema de Notificación, Metodología, Patrones de evaluación, Componentes IHC.

Capítulo 1

1. Introducción

1.1. Contexto

En la actualidad es casi imposible encontrar un sistema de cualquier tipo basado en computadores en el que el humano no interactúe con él. Incluso aunque se trate de una comunicación exclusivamente entre dos computadores, normalmente se incluye una interfaz que permita solucionar el enlace entre máquinas cuando aparece algún problema [Mulligan et al. 1991].

Esta interfaz con el sistema proporciona acceso a los recursos internos del mismo, facilitando la actividad humana [Newman y Lamming 1995]. Aunque si la interacción de los usuarios con el sistema no es fácil ni satisfactoria, el resultado final será la descalificación global del sistema, aunque éste sea funcionalmente correcto y robusto.

Desde un punto de vista semiótico, una interfaz de usuario puede verse como una serie de mensajes interactivos únicos, de alto nivel, enviados desde los diseñadores del sistema a los usuarios [Prates et al. 2000]. O de otro modo, la interacción de un humano con un sistema puede verse como un intercambio de información inteligible para cada uno de los componentes de la interfaz humano-computador.

El usuario, como ser humano, necesita información, lo que se considera una de las pocas constantes en nuestro mundo, independientemente de la cultura a la que pertenezca o del instante de tiempo en el que transcurra su actividad. Esta necesidad se combina con la ocupación del usuario en otras tareas que requieren su atención, de forma que hay al menos dos focos de atención que compiten por el bien más preciado de cualquier interfaz humano-computador: la atención del usuario. En un sistema automatizado, la parte encargada de proporcionar información de gran interés al usuario se conoce como **Sistema de Notificación**. Algunos ejemplos de Sistemas de Notificación son los sistemas de mensajería instantánea, los sistemas que muestran a los usuarios el estado de cualquier conjunto de variables, los mensajes de avisos y alertas de agendas y correo electrónico.

Esta notificación proporcionada al usuario es especialmente importante en los sistemas en los que no se admite la pérdida de disponibilidad ni de confianza del sistema por un fallo. Estos sistemas se conocen como **sistemas críticos**. Un ejemplo de este tipo de sistemas son los aviones contemporáneos, correspondiéndose estos Sistemas de Notificación con sistemas de seguridad crítica manejados por usuarios muy especializados.

En la interfaz de los sistemas de notificación en aviónica (SNA) influyen aspectos exclusivos de un sistema crítico, puestos de manifiesto en las tendencias y características que se pueden apreciar en las últimas décadas. De entre todas estas tendencias y características, a continuación se enumeran las más significativas:

- Ha aumentado considerablemente la complejidad del software [Romanski 2000] (véanse las cifras comparativas en la Figura 1) con el consiguiente aumento en el coste (en tiempo y recursos) en nuevos desarrollos, mantenimiento y de la integración con otros sistemas ya desarrollados o en interfaces para sistemas críticos de nuevo desarrollo.

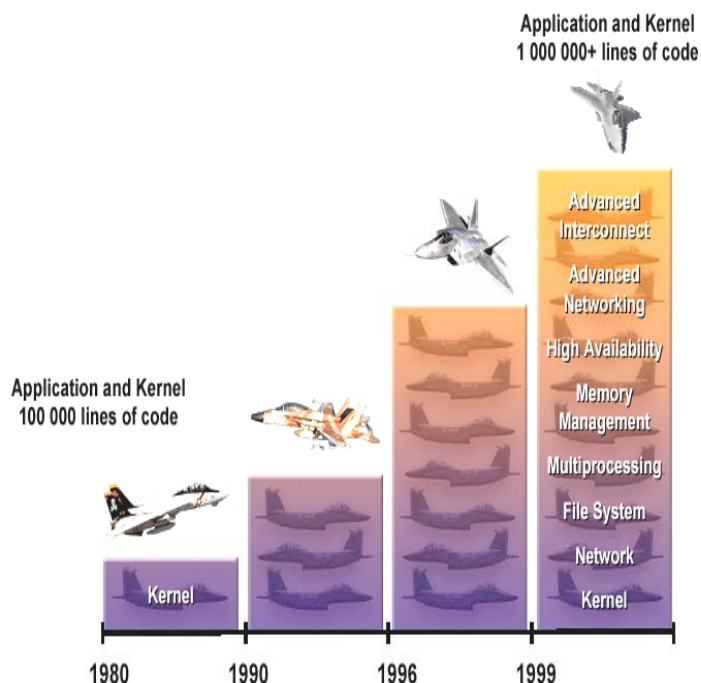


Figura 1 Incremento de la complejidad del software en sistemas críticos de avión [Romansky 2000]

- Los usuarios piden insistentemente el uso de interfaces de usuario con capacidades gráficas y metáforas. En consecuencia, se añade una interfaz de usuario en la que se substituye el texto en forma tabular por capacidades gráficas de gran resolución que requieren una gran capacidad de procesamiento.
- Las interfaces gráficas incluyen cada vez más capas de información, a menudo contradictorias e inconsistentes entre sí, sobrecargando las capacidades de los usuarios.
- Es necesario que estos sistemas (y todos sus componentes) puedan ser certificados por una autoridad de aeronavegabilidad (FAA , “Federal Aviation Administration” en USA o JAR, “Joint Aviation Regulation” en la Comunidad Europea), según ciertos criterios de certificación [ARINC 1992a] relacionados con la probabilidad de fallo por hora de vuelo (la hora de vuelo como medida de uso real de un sistema crítico). La
- Tabla 1 muestra la clasificación del software en diferentes niveles dependiendo de su impacto en la seguridad del sistema.

Consecuencia de los Fallos	Nivel de Software	MTB F ¹
Catastrófico	A	10 ⁻⁹
Arriesgada	B	10 ⁻⁷
Mayor	C	10 ⁻⁵
Menor	D	10 ⁻³
Sin consecuencias	E	N/A

Tabla 1 Clasificación del software según su criticidad [ARINC 1992a]

¹ MTBF : Medium Time Between Failures (in hours)

- Los usuarios requieren, cada vez más, la integración en los sistemas críticos de tareas muy comunes, y siempre automatizadas de la misma forma en que se encuentran estas tareas en la vida normal (por ejemplo, la existencia de mecanismos de ayuda y manuales de operación integrados en la interfaz de usuario en la misma forma que cualquier sistema de sobremesa). De esta forma se reducirá la brecha de conocimiento [Kieras et al. 2001] asociado al manejo de un sistema crítico.
- La interfaz de usuario incorpora Sistemas de Notificación en situaciones que requieren la atención dividida entre varias tareas, y en una gran variedad de plataformas y modos.

Ejemplos de Sistemas de Notificación empotrados en los sistemas críticos de cabinas de aviones incluyen los sistemas dedicados a proporcionar avisos de vuelo (FWS, "Flight Warning System") y sistemas de ayuda a la navegación (HUD, "Head-Up Display"). En este tipo de interfaz el usuario debe mantener la concentración durante largos períodos de tiempo (normalmente varias horas) con un flujo de acciones multitareas en un entorno multiusuario totalmente ordenado y predecible. Para ello, todos los Sistemas de Notificación requieren que el usuario les preste atención en mayor o menor grado, pero el grado en el que distraen al usuario aún no está bien explicado ni cuantificado. Por tanto, es necesario incorporar Sistemas de Notificación que proporcionen al usuario información muy valiosa (alertas, avisos y consejos clasificados en varios niveles de criticidad) de forma eficaz y eficiente, sin introducir interrupciones no deseadas que aparten al usuario del sistema crítico de la tarea principal.

Pero, ¿cómo se puede saber si el diseño de la interfaz de un Sistema de Notificación es correcto? o, de forma más precisa, si ¿es usable? Para saberlo se debe llevar a cabo un proceso de evaluación de usabilidad² que permita a los diseñadores estar seguros de que su software es usable y que hace lo que los usuarios esperan de él [Raskin 2000; Preece et al. 2002]. Genéricamente, la evaluación de la usabilidad comprende un conjunto de técnicas o métodos llevados a cabo por evaluadores para examinar, cualitativa o cuantitativamente, aspectos relacionados con la usabilidad de una interfaz de usuario. Como soporte al diseño, la evaluación permitirá: (1) comprobar la veracidad de decisiones de diseño y (2) elegir entre varias alternativas posibles. En el mundo real, alejado de los laboratorios, el diseño y la evaluación están integrados: no puede realizarse el uno sin el otro. Más concretamente, el objetivo principal de la evaluación es hacer progresar adecuadamente el diseño [Preece et al., 2002].

La evaluación de cualquier interfaz de usuario basada en objetivos cuantificables debe permitir establecer la bondad de una interfaz aislada o su comparación con otras que tengan el mismo objetivo. Así, por comparación, se puede establecer no solamente que un sistema es diferente a otro, sino fundamentalmente que un sistema es mejor que otro. Para ello es necesario proporcionar medidas directas que sirvan para determinar la usabilidad de una interfaz y que permitan comparar objetivamente una interfaz con otra³. Las medidas de prestaciones no pueden realizarse si no existen requisitos específicos previos al diseño. Es notable la ausencia de este tipo de requisitos en el ciclo de diseño de una interfaz. Según Newman [Newman 1997] en ausencia de requisitos de prestaciones deben establecerse un conjunto de parámetros⁴ críticos que permitan definir las unidades de medida. Son críticos

² El término "usabilidad" definido como "calidad de uso" no está recogido por la Real Academia de la Lengua. El término más afín es "usación" definido como "acción y efecto de usar", aunque no se corresponde con el concepto que debe recoger "usabilidad", como condición de "usable"

³ Parafraseando a Miguel de Cervantes: "Nada es tan imposible como diseñar una interfaz de usuario que gane la aprobación de todos". A pesar de todas las medidas objetivas, uno de los elementos susceptible de evaluación es la subjetividad, de modo que podemos encontrar totalmente aplicable la frase anterior: el usuario manifestará su predilección por una determinada interfaz, independientemente de los valores cuantitativos ofrecidos por la evaluación y no será posible diseñar una interfaz de usuario que satisfaga totalmente a todos los usuarios".

⁴ Se define 'Parámetro' como dato o factor que se toma como necesario para analizar o valorar una situación y, matemáticamente, como una variable que, en una familia de elementos, sirve para identificar cada uno de ellos mediante su valor numérico.

porque el éxito o fracaso de un diseño depende, de forma crítica, de si se cumplen o no los objetivos fijados por medio de estos parámetros.

Aunque se le conceda gran importancia, la evaluación de cualquier sistema está poco implantada como un proceso más en el ciclo de vida de un producto, ya que se suele considerar un proceso costoso, en tiempo y recursos, y que no añade ningún valor al producto. Según [Nielsen 1993], la mayor parte de los métodos empleados en usabilidad, incluido el proceso de evaluación, son intimidatorios, difíciles de seguir y un desperdicio de tiempo. Otros autores consideran las pruebas de usabilidad de utilidad limitada, cuya única aportación es la evidencia anecdótica de cómo una caja negra, el ser humano, interacciona con otra, el Sistema Crítico [Erdos 2005].

Por otra parte, el hecho de que los usuarios de computadores están muy habituados al uso de sistemas, y en concreto a los de notificación, no implica que la evaluación de estos sistemas sea exhaustiva y, generalmente, se limita a demostrar el valor intrínseco de algunos paradigmas de diseño aislados, basados en una única implementación práctica, de forma que no es posible ni la reproducción, ni la extensión ni la generalización de los resultados de la evaluación.

La evaluación de Sistemas de Notificación está muy poco desarrollada, en las interfaces en general y, de forma más acentuada, en los sistemas críticos. Las únicas experiencias disponibles en la evaluación de interfaces de usuario de sistemas críticos, y por inclusión de los Sistemas de Notificación de sistemas críticos, se encuentran en aplicaciones militares y de aviónica. Estas evaluaciones, muy costosas en tiempo y recursos⁵, se han basado en medidas subjetivas [Reid y Nygren 1988; Hart y Staveland 1988; Cooper y Harper 1983], en datos empíricos y en el cumplimiento de unas guías probadas con su uso. Estas guías incluyen directivas [ABD200 2000; AEA 2004], reglas de obligado cumplimiento [MIL-PRF-22885 2002; HF-STD-001 2003] o simplemente recomendaciones y buenas prácticas [ISO 9241-11 1996; AEEC CEI 2004]. En su mayor parte proceden de los sistemas militares críticos y, aunque en ocasiones sean de ámbito muy limitado desde el punto de vista de la ciencia cognitiva y puedan ser manifiestamente mejorables, están ampliamente aceptadas en el diseño de interfaces de notificación para sistemas críticos, ante la ausencia de marcos de evaluación efectivos.

Cuando estas guías han quedado obsoletas o no cubren todos los aspectos que influyen en el diseño de una interfaz o no son suficientemente precisas, el diseñador de interfaces puede rechazarlas basándose en su juicio y en su experiencia. Si no existen requisitos ni una evaluación cuantitativa basada en modelos cognitivos, el evaluador no podrá justificar científicamente en qué falla una determinada interfaz y por qué. Podría llegarse a una situación sin salida en la que se enfrentasen el juicio del diseñador y el juicio del evaluador. Inclusive entre evaluadores experimentados que empleen la misma técnica de evaluación, los resultados de la misma varían notablemente entre los diferentes evaluadores [Jeffries et al. 1991; Molich et al. 1998, 1999; Nielsen 1993]. Así, al ser evaluadas dos interfaces de usuario por cuatro y ocho equipos independientes de evaluadores, sus coincidencias estuvieron por debajo de un 1% [Molich et al. 1999]. Además, los métodos de evaluación existentes sólo cubren un subconjunto de las posibles acciones que puede realizar un usuario. Por esta razón, los expertos en usabilidad a menudo recomiendan emplear varias técnicas de evaluación [Dix et al. 2003; Nielsen 1993] que impliquen a varios evaluadores, puesto que algunos problemas de usabilidad no son encontrados por todos los evaluadores, ni la misma persona es el mejor evaluador en todos los instantes de tiempo [Nielsen 1994]

Esta situación podría mejorarse con un marco de trabajo para la evaluación de SNAs, fundamentada en la teoría cognitiva, que proporcione datos cuantitativos que permitan decidir objetivamente si el diseño de la interfaz de un SNA es correcto, que permita la comparación de varias interfaces alternativas para el mismo SNA o que le indique cuales son las deficiencias encontradas así como posibles soluciones. Todo ello basándose en principios objetivos a través de la medida de un conjunto de parámetros críticos.

⁵ Y no siempre posible: los equipos necesarios para realizar una evaluación no deben interferir en las tareas de los pilotos y, además, con limitaciones de espacio en las cabinas de aviones.

1.2. Objetivo

En este contexto, un marco de evaluación que incluya la evaluación predictiva, antes de realizar la implementación, permitirá prever los problemas de diseño, y reducir, en tiempo y en coste, el número de iteraciones diseño-evaluación con usuarios necesarias para optimizar la interfaz del Sistema de Notificación. Además, su aplicación a los SNA se facilita por su carácter determinístico, en las tareas a realizar y cómo realizarlas, y por ser manejados por usuarios sistemáticos y altamente especializados en su dominio. Dado que la mayor parte de las personas son impredecibles en su comportamiento, este tipo de usuarios simplificará la caracterización de la interacción humano-computador, debido a su alta preparación y elevado nivel de formación.

El **objetivo** de esta tesis es el desarrollo de un marco de trabajo para la evaluación predictiva de Sistemas de Notificación en aviónica que pueda aportar datos, cualitativos y cuantitativos, de forma que permita al diseñador de la interfaz saber si su producto será usable antes de construirlo, y sin tener que realizar pruebas con los usuarios. A su vez este marco de evaluación debe ser susceptible de integración de forma natural en los ciclos de vida más empleados en aviónica, de fácil aplicación por los diseñadores y ayudar eficazmente a éstos en las actividades de evaluación.

Se propone un marco de evaluación de Sistemas de Notificación en Aviónica que sea claro en su aplicación, se pueda extender y se pueda replicar como principales atributos de una investigación [Gray y Saltzman 1998]. En este marco, la aproximación a la evaluación de usabilidad y del diseño interactivo de los Sistemas de Notificación se desarrolla en varios pasos, inspirados en [McCrickard et al. 2003a]. Primero, se establecen los parámetros críticos basándose en los modelos psicológicos. Segundo, se realiza una evaluación predictiva de usabilidad basada en la cuantificación de estos parámetros y, finalmente, se mejorarán de forma incremental las guías de diseño con una aproximación basada en escenarios. Este marco de evaluación, por tanto, debe permitir:

1. Implantar la evaluación en el ciclo de vida seleccionado para el desarrollo a través de:
 - 1.1. La definición de parámetros críticos como medida indirecta de la usabilidad en ausencia de requisitos específicos.
 - 1.2. La generación de modelos predictivos que permitan describir los problemas antes de construir el producto.
2. Automatizar la evaluación predictiva a partir de la formalización matemática de los parámetros críticos y de los modelos predictivos.

El marco de trabajo de evaluación predictiva desarrollado cubre varias técnicas de evaluación; a saber: evaluación por inspección y evaluación formal basada en modelos. Este marco está inspirado y, a su vez, es aplicable a los ciclos de vida, como puede ser el ciclo "V&V." (Validación de requisitos, Verificación del diseño y el 'punto' que representa el Mantenimiento).

Aunque no es el objetivo de esta tesis, los datos proporcionados pueden posibilitar la constitución de una base de conocimiento que permita a los diseñadores de interfaces, en principio limitado a los Sistemas de Notificación en Aviónica, conocer las propiedades 'macroscópicas' de un determinado diseño a partir de:

(1) La interacción del usuario con sus componentes individuales, y

(2) La forma en la que influyen entre sí los componentes en su interacción global con el usuario, tal y como sucede en química con las propiedades individuales de los átomos y las propiedades 'macroscópicas' de una molécula a partir de una agrupación de átomos.

1.3. Metodología de la investigación

El procedimiento que se empleará para abordar la problemática de esta tesis se plasma en los siguientes pasos [Sierra, 1986]:

1. Determinación del problema:
 - a) El paso inicial es la definición del contexto del problema y de los motivos por los cuales surge este trabajo:
 - No hay métodos de evaluación predictiva para los SNAs.
 - Los métodos actuales son costosos y poco flexibles.
 - b) Fijado el contexto del problema se elabora el estado de la cuestión sobre la teoría y los conocimientos relativos a los distintos aspectos de la problemática (Sistemas de Notificación, Sistemas Críticos, Métodos de Evaluación de Usabilidad y Modelos Cognitivos de Usuario) y las posibles investigaciones y aportaciones realizadas anteriormente con relación al mismo.
 - c) Tras conocer el estado de la cuestión se procede a la definición del problema de una manera concreta y explícita.
2. Conocido el problema se formulan las hipótesis necesarias para la solución del problema determinado en el paso anterior. La solución de este problema se convierte de este modo en el objetivo fundamental de esta tesis. La formulación de hipótesis, a su vez, implica:
 - a) La elaboración de los objetivos a alcanzar con la realización de este trabajo. La consecución del objetivo principal se plantea través de la consecución de otros objetivos secundarios:
 - La automatización del marco de evaluación que permita una reducción de los costes de la evaluación de las interfaces de SNAs,
 - La implantación del marco de evaluación en el ciclo de vida más utilizado en aviónica, el ciclo "V&V.", puesto que no solamente es necesario obtener una solución, sino que la solución debe ser aplicable de forma sencilla por los diseñadores.
 - La elaboración de una base de conocimiento de evaluación y la elaboración de guía de diseño para SNAs, los cuales no son objetivos de esta tesis.
 - b) Diseño de una solución al problema que pueda ser verificable, tanto empírica como cualitativamente. El método de trabajo a seguir no se basa en la inducción, sino en el método hipotético-deductivo⁶. Se diseña una solución basada en:
 - los parámetros críticos como una medida indirecta de usabilidad,
 - un modelo predictivo constituido por las relaciones matemáticas que pueden aplicarse a estos parámetros críticos en base a los modelos cognitivos,
 - la caracterización de la interfaz de un SNA como entrada al modelo cognitivo,

⁶ El método inductivo está derivado del planteamiento de Hume, quien ('An inquiry concerning human understanding', capítulo III) negó que estuviera basado en una necesidad lógica, sino en una expectativa surgida de la reiteración de secuencias de fenómenos. Las tendencias en la filosofía de la ciencia más importantes en la segunda década del siglo pasado (el empirismo de Mill y el positivismo lógico) se basaban en la validez de la inducción. Las teorías, según Popper, no son el resultado de la síntesis de numerosas observaciones, como afirman los inductivistas, sino que más bien son conjeturas o invenciones creadas por los investigadores para explicar algún problema, y que a continuación deben ponerse a prueba por medio de confrontaciones con la realidad diseñadas para su posible refutación. Éste fue el origen de la versión popperiana del método científico conocido como hipotético-deductivo, que posteriormente se ha conocido como el método de "ensayo y error" o, como el de "conjeturas y refutaciones" [Popper, 1963].

- la generación de informes que proporcionen un conjunto de datos cualitativos y cuantitativos y que cubran las principales facetas de la evaluación de usabilidad de un SNA: semiótica, redundancias y dimensiones de la información, sobrecarga mental en los usuarios, interferencia entre tareas, selección de modos, asignación dinámica de prioridades en las notificaciones, percepción sensorial (combinación de colores, uso de mayúsculas, etc.) y cumplimiento de heurísticas.
3. Una vez establecidas las hipótesis necesarias para la solución del problema es preciso realizar la comprobación de la propuesta de la solución. Para ello:
 - a) Se realiza una validación formal de los parámetros críticos como una medida indirecta de la usabilidad aplicando el criterio de validación [Scheindewind 1992]⁷.
 - b) Se aplica la solución a casos de estudios concretos de diseños ya existentes y cuyo uso ha resultado satisfactorio. El marco de evaluación se aplica a los aviones A340, A380 y A400M, cuyas interfaces han sido probadas por el uso. Estas interfaces han sido seleccionadas por estar disponibles los resultados de la evaluación empírica realizada con usuarios.
 - c) Se determina la forma concreta de realizar la verificación de dichos casos de estudio: una evaluación mediada entre los resultados obtenidos por la aplicación del marco de evaluación y los resultados experimentales obtenidos en la evaluación con usuarios.
 - d) Se aplica el marco de evaluación al ciclo de vida más empleado en aviónica: el ciclo "V&V."
 4. Análisis de los resultados obtenidos con la implementación del marco de evaluación predictivo como cumplimiento del objetivo fijado de obtener una solución al problema planteado. En este último paso:
 - a) Se determina la significación y el alcance del análisis realizado en los casos de estudio y se comparan con los objetivos de partida.
 - b) Se analiza la posible generalización de los resultados y su validez en otras áreas relacionadas, como puede ser los Sistemas de Notificación en automóviles.

1.4. Aportaciones esperadas

La principal aportación de esta tesis es el desarrollo de un marco de evaluación formativa, predictiva y automatizado para interfaces de SNA que permita realizar una evaluación sistemática, focalizando el diseño en unos objetivos cuantificables, que no dependen ni del evaluador ni del usuario de la interfaz, y facilitar así una mejora continua y aditiva de los distintos diseños aplicables a un determinado problema.

A través del uso de este marco de evaluación, el diseñador de interfaces de usuario podrá incorporar el proceso de evaluación en sus patrones de diseño IHC, para diseñar sin necesidad de emplear recursos adicionales.

De esta forma, podrán detectarse problemas relativos a una interfaz, tanto en el cumplimiento de las necesidades y los requisitos de los usuarios como en los problemas de usabilidad detectados en el diseño y, así, permitir solucionar los problemas de diseño y garantizar el correcto funcionamiento de la interfaz, especialmente en situaciones críticas.

⁷ Una métrica de usabilidad es una función cuyos valores de entrada son valores de la interfaz de un SNA y cuyos valores de salida pueden interpretarse como una medida de la usabilidad. La entrada a esta función es la caracterización de la interfaz del SNA y los valores de salida los valores de los parámetros críticos. Para que una métrica sea válida (de ahí el nombre del principio) es necesario (1) que los parámetros críticos como medida indirecta de la usabilidad cumple las características de: asociación, consistencia, capacidad de discriminación, seguimiento, predicción y repetición (2) que estos parámetros estén asociados estadísticamente con la usabilidad o cuya relación sea de amplia aceptación o de uso histórico.

Las contribuciones asociadas a este marco de evaluación para interfaces de SNA, y sus características más destacadas, son:

- (1) Un conjunto de parámetros críticos. El marco de evaluación está basado en la selección de este conjunto de parámetros críticos que siguen los criterios matemáticos de: asociación, consistencia, capacidad de discriminación, seguimiento, predicción, y repetición.
- (2) Un conjunto de relaciones matemáticas que permiten desempaquetar y cuantificar los parámetros críticos. Estas relaciones matemáticas están basadas en las principales teorías cognitivas existentes, fundamentalmente EPIC [EPIC 2005], ICS [Barnard 1985], ACT-R [ACT-R06 2005] (en su versión 6), SOAR ([Laird et al. 1987] [Newell 1990]) y el modelo de los Recursos Múltiples [Wickens y Hollands 2000]. Con estas relaciones matemáticas se propone una función de evaluación ϕ que, aplicada a la interfaz I , permita obtener unos resultados cuantitativos R formados por datos numéricos reales. Formalmente, se trata de aplicar una función ϕ , parametrizada para cada interfaz, tal que

$$\forall I \in S \{\text{Sistemas de Notificación en aviónica}\} \exists \phi / \phi(I) = R$$

Esta función de evaluación da paso a la evaluación reducida y predictiva de interfaces de SNA que permitirá ahorrar tiempo y recursos dedicados a la evaluación, y por ende, al diseño de la interfaz de un SNA. El marco de evaluación permite una aplicación sencilla y rápida que indica el éxito o fracaso de una decisión de diseño, o elegir entre varias alternativas de diseño, basándose en criterios objetivos de cumplimiento de estándares y heurísticas, y en los parámetros correspondientes a las capacidades cognitivas del usuario. El marco de evaluación desarrollado permite una evaluación **crítica**, mostrando, no solamente el resultado de la evaluación, sino que también se indica qué componente de la interfaz incluye un diseño incorrecto, cuál es el motivo y una posible forma de solucionar el problema.

También se aporta la incorporación al método de evaluación del principio de **reconocimiento antes que recuerdo**⁸ [Norman 1988; Newell, 1990] a través de la función de evaluación ϕ . Ningún modelo de usuario, excepto SOAR tímidamente, incluye este principio. La inclusión de este principio supone una evaluación predictiva de la sobrecarga mental de los usuarios más acorde con los recursos requeridos por una interfaz: los usuarios no se sobrecargan ni tan rápidamente ni con un número pequeño de tareas tal y como indican los modelos cognitivos y de evaluación que no incluyen este principio.

- (3) **La caracterización formal** de la interfaz de un SNA es una aportación científica que permite definir un espacio de diseño común e independiente del sistema de control. La caracterización de la interfaz de un SNA, definida en BNF e implementada en XML, también permite el uso de un lenguaje común y consistente entre diseñadores de sistemas críticos y especialistas en interfaces de usuarios. Estas caracterizaciones son comunes para componentes similares y facilitan la identificación de patrones IHC para SNAs basándose en valores similares de los distintos campos que forman la caracterización. La **automatización**, como aportación tecnológica, del modelo predictivo, permitirá realizar más evaluaciones en el ciclo de diseño, incorporando la posibilidad de comparar simultáneamente varias alternativas de diseño. El marco de evaluación puede aplicarse en cualquier momento del ciclo de diseño de una interfaz y del mismo modo puede dejar de seguirse en cualquier etapa del mismo. De esta forma, la automatización permite detectar de forma inmediata los problemas relativos a una interfaz de un SNA, tanto en el grado del cumplimiento de las necesidades y los requisitos de los usuarios como en los problemas de usabilidad detectados en el diseño y, así, permitir solucionarlos, garantizando el correcto funcionamiento de la interfaz, especialmente en situaciones críticas, difícilmente evaluables en condiciones reales y con grandes repercusiones en modificaciones posteriores.

⁸ Según este principio, el recuerdo supone conocimiento soportado por la memoria, en tanto que el reconocimiento supone conocimiento con soporte en el mundo exterior.

Otras características y aportaciones derivadas de las aportaciones principales son:

- (4) Se introduce el concepto de **patrones de evaluación** como la instanciación del marco de trabajo desarrollado en esta tesis a cada componente IHC. De este modo, cada componente IHC incluye sus métodos de evaluación propios en función de los parámetros críticos y la teoría cognitiva que lo soporta.
- (5) Se introducen los **componentes atómicos de HCI para SNAs**. Estos componentes, básicos y mínimos, se agrupan entre sí y con otros componentes para formar interfaces más complejas.
- (6) Se aporta una **clasificación** de los niveles de prioridad de un sistema de notificación (no sólo aplicable a aviónica) y su relación con los paradigmas auditivos y visuales comúnmente empleados. Esta clasificación está inspirada en una clasificación de avisos del sector aeronáutico.
- (7) **La generación** de informes de evaluación modulares y variados que permiten ajustar el marco de evaluación a todas las etapas del diseño, desde las más preliminares de concepción de prototipos y elaboración del modelo conceptual de la interfaz, hasta las últimas etapas en que la interfaz se encuentra totalmente operativa. Cada etapa del ciclo de diseño tiene su correspondiente evaluación predictiva y formativa a través de los informes proporcionados por el marco de evaluación y, a su vez, cada informe puede aplicarse de modo iterativo, en refinamientos sucesivos, a cada una de las etapas.
- (8) Un mecanismo para la **predicción del tiempo de entrenamiento** necesario para conseguir una operación satisfactoria por parte de distintos perfiles de usuario, según su experiencia, sus habilidades cognitivas y su conocimiento previo de interfaces similares.
- (9) Un marco de evaluación que permite distinguir entre los distintos **contextos** y con **distintos perfiles de usuarios**.
- (10) **La aportación de criterios** que permiten tomar decisiones en revisiones e inspecciones formales de diseño relativas a la transición entre etapas de diseño, fijando valores mínimos para los resultados proporcionados en los informes disponibles en el marco de evaluación.

1.5. Estructura del documento

El presente documento consta de los siguientes capítulos, descritos a continuación:

Capítulo 1. Introducción.

Es el presente capítulo, en el cual se explica el contexto en el que surge la propuesta de tesis, la definición de la problemática a solucionar, los objetivos a lograr, las aportaciones propuestas y la metodología de investigación a seguir.

Capítulo 2. Estado de la cuestión.

Es el capítulo que recoge una breve descripción de los temas clave para la realización de este trabajo: interacción humano-máquina (y su particularización en interfaces de sistemas críticos y Sistemas de Notificación), usabilidad, evaluación de usabilidad, parámetros críticos, evaluación predictiva y evaluación automática formal.

Capítulo 3. Planteamiento y determinación del problema.

Con este capítulo se pretende dar una visión del entorno en el cual surge este trabajo y los objetivos concretos que se persiguen.

Se describen las etapas a cubrir para llevar a cabo este trabajo y el modo de evaluación que se empleará para validar la consecución del objetivo.

Capítulo 4. Solución propuesta.

En este capítulo se desarrolla un marco de evaluación predictivo y automatizado que permite dar una solución al problema planteado.

El capítulo comienza con una descripción global de la solución propuesta y de los pasos seguidos para su desarrollo. En las secciones subsiguientes se describe completamente cada uno de estos pasos.

El marco de evaluación está basado en la selección y formalización de un conjunto de parámetros críticos que permite obtener resultados cuantitativos cuando se aplica a la interfaz de un sistema de notificación previamente caracterizado y formalizado.

El capítulo finaliza con la introducción de los patrones de evaluación de Sistemas de Notificación en aviónica y la introducción de los componentes IHC básicos para interfaces de Sistemas de Notificación en aviónica.

Capítulo 5. Evaluación de la propuesta.

La solución propuesta en el capítulo anterior es evaluada siguiendo el criterio de validación [Scheindewind 1992]. En este capítulo se describen los pasos requeridos por este principio para obtener la validación de la métrica subyacente en el marco de evaluación propuesto.

El paso final del criterio de validación requiere la aplicación del marco de evaluación a interfaces reales. En este capítulo se describe la aplicación de la solución propuesta a la interfaz de los Sistemas de Notificación de los aviones A340, A380 y A400M, y los resultados de la comparativa resultante entre el modelo predictivo y la evaluación empírica realizada con usuarios.

También se incluye en capítulo la aplicación del marco de desarrollo a un ciclo de diseño de Sistemas de Notificación para sistemas críticos en aviónica: el ciclo "V&V."

Capítulo 6. Conclusiones y Líneas futuras.

En este capítulo se describen las conclusiones obtenidas en el desarrollo de esta tesis y las líneas futuras a seguir para ampliar el desarrollo y la aplicación del marco de desarrollo objeto de esta tesis.

Capítulo 7. Referencias y Bibliografía.

Enumera la literatura utilizada para elaborar este documento y la bibliografía más relevante en el área del problema.

Anexos

Como anexos se incluyen:

- La interfaz de usuario del marco de evaluación,
- La caracterización XML, el correspondiente esquema XSD y la definición del DTD a la interfaz del sistema de notificación de la planta de potencia del avión A400M, y
- Los resultados proporcionados por el marco de evaluación aplicado a esta interfaz.

Capítulo 2

2. Estado de la cuestión

Este capítulo comienza con el concepto de interfaz humano-computador y usabilidad. Continúa con la definición de sistemas críticos y Sistemas de Notificación y la caracterización de sus interfaces de usuario y prosigue con la evaluación de usabilidad, para posteriormente introducir las taxonomías que presenta la evaluación de usabilidad y los trabajos existentes relacionados con la evaluación de Sistemas de Notificación. A continuación, se presentan los parámetros críticos y la evaluación predictiva y cómo pueden ser aplicados a la evaluación de usabilidad. También se presentan las principales macroteorías cognitivas por ser el fundamento teórico en el que se va a basar la formalización propuesta en este trabajo. El capítulo finaliza con una breve introducción de las principales guías de diseño empleadas en aviónica.

2.1. Interacción humano-máquina y usabilidad

En el diseño de una interfaz o un sistema interactivo no interviene solamente el cómo automatizar una tarea, sino que el sistema también debe garantizar que se va a producir una mejora a la hora de realizar esta actividad [Newman y Lamming 1995] tanto en prestaciones como en el número de errores producidos. Se trata de mejorar la **usabilidad** del sistema. El término usabilidad es colectivo y comprende todos los aspectos que afectan a las prestaciones a la hora de realizar una determinada tarea [Whiteside 1994].

La usabilidad se define como la propiedad por la que un sistema de computadores permite que los usuarios, en determinado contexto de uso, consigan unos determinados objetivos de eficiencia y efectividad al realizar tareas a la vez que fomenta la satisfacción del usuario. [ISO 9241-11 1999]

Por tanto, la usabilidad responde a la cuestión de si nuestro sistema es lo suficientemente bueno para satisfacer todas las necesidades y requisitos de los usuarios [Nielsen 1993], distinguiéndose entre usabilidad y utilidad (y sin embargo, hoy es día estos dos términos son indisolubles y se habla de **utilisabilidad** 'utilisability'). La utilidad se ocupa de aspectos funcionales (¿hace nuestro sistema aquello para lo que se pensó?) en tanto que la usabilidad se ocupa de la satisfacción del usuario al usar esa funcionalidad [Grudin 1992]. Es muy difícil delimitar ambos conceptos en una interfaz, y difícilmente tendremos una interfaz útil que se aceptada por los usuarios si no es usable, o una interfaz muy usable, pero que no le sea útil al usuario. Tal vez sea conveniente empezar a hablar de que nuestra interfaz debe ser "utilizable".

De una forma más completa [Carroll y Rosson, 2002] definen la usabilidad como una cualidad de un sistema respecto a:

- su facilidad de uso: múltiples formas de intercambiar información entre el usuario y el sistema,
- su facilidad de aprendizaje para nuevos usuarios que garanticen la interacción efectiva y máximas prestaciones, y
- la satisfacción del usuario incluyendo el soporte al usuario para garantizar las metas (robustez)

Otros autores [Preece et al. 2002] definen la usabilidad en función de unos objetivos a conseguir en el diseño de una interfaz. De entre todos, los objetivos más importantes a conseguir serían: *efectividad, eficiencia, seguridad* (para los usuarios y para la propia interfaz), *útil y fácil de usar*.

Aunque dependiendo de la interfaz (por ejemplo videojuegos) otros objetivos como la satisfacción del usuario y el entretenimiento cobran una mayor relevancia.

Una vez conocidos los factores y atributos abstractos relacionados con la usabilidad (Aprendizaje, Eficiencia, Memorización, Errores y Satisfacción) [Nielsen 1993] es necesario definirlos de un modo más preciso y, si es posible, evaluarlos y medirlos de una forma sistemática, en una verdadera labor de ingeniería de la usabilidad para poder clarificar lo que de difuso tiene la expresión “amigable” [Shackel 1991].

Los principales criterios de usabilidad aplicables a un sistema crítico son la efectividad, la eficacia y la confianza: el usuario quiere que el sistema le responda ¡ya! (se debe tener en cuenta que, por ejemplo, un avión a velocidad Mach 1 puede recorrer más de 1Km en 3 segundos) y, además, con seguridad para los usuarios. Y, por supuesto, que no se interrumpa el funcionamiento normal del sistema. Esta demanda es especialmente crítica en situaciones degradadas y de emergencia (pensemos por ejemplo en lo que espera un piloto de avión del sistema con el que se relaciona cuando le fallan los motores o en los usuarios de una central nuclear cuando se detecta una fuga radioactiva).

Una vez conocido lo que representa la interfaz de un sistema y su principal característica, se presenta su particularización a los Sistemas de Notificación para sistemas críticos.

2.2. Sistemas críticos y Sistemas de Notificación

Un sistema se considera **crítico** si un único fallo debido al sistema, al usuario o a la forma en la que el usuario debe desempeñar las tareas para las que se ha diseñado el sistema, puede ocasionar graves daños bien en el propio sistema, o en sus alrededores o incluso daños trágicos en los usuarios. Tradicionalmente los aviones son sistemas de seguridad crítica que incluye a su vez numerosos sistemas de seguridad crítica (control de los motores, control de la física del vuelo, tren de aterrizaje, comunicaciones, equipos de navegación, etc.).

Las principales características de las interfaces de los sistemas críticos son:

- El diseño de interfaces, y por extensión la interfaz de los sistemas críticos tiende a producir diseños cada vez más complejos, multicapa, conduciendo a niveles de dificultad injustificables.
- El objetivo fundamental del diseño de la interfaz es disminuir la probabilidad de que el usuario cometa errores, tanto en lo que un humano puede hacer como en lo que no debe hacer: facilidades y limitaciones (*'affordances'* y *'constrains'*). Para ello, el diseño debe basarse en los resultados proporcionados por una evaluación objetiva y sistemática.
- El diseño de estas interfaces está basado en estándares, cuyo uso correcto se apoya en la repetición sistemática de las tareas para las que se diseñó, de modo que se facilite el flujo de las tareas y se consiga una reacción automática en caso de situaciones de emergencia. En el lenguaje de la psicología cognitiva, cualquier tarea que se aprende a hacer sin “pensamiento consciente” se convierte en automática, lo que permite la ejecución de múltiples tareas en el mismo instante de tiempo. De todas las tareas que se realizan al mismo tiempo, como máximo una se realiza de forma consciente y no-automática. Esta tarea que no se realiza automáticamente es la que acapara nuestra atención. Cuando se realizan varias tareas simultáneamente de forma consciente, ninguna de las cuales se hace de forma automática, nuestro rendimiento en cada tarea se ve degradado –en psicología a este fenómeno se le conoce como “interferencia” – puesto que las tareas compiten por la atención de los usuarios [Baars 1988]

Si la interacción de los usuarios con el sistema no es fácil ni satisfactoria el resultado final será la descalificación global del sistema, aunque éste funcione satisfactoriamente en otros aspectos. No obstante, uno de los elementos susceptible de evaluación es la subjetividad de modo que podemos encontrar totalmente aplicable la siguiente sentencia de Miguel de Cervantes: “Nada es más imposible que escribir un libro [diseñar una interfaz de usuario] que gane la aprobación de todos”.

La Ingeniería de la Usabilidad hereda y comparte muchos métodos de diseño con el diseño de sistemas críticos en aviónica:

- Ambos, controladores de sistemas críticos (en un avión pilotos) y usuarios participan muy activamente en el diseño.
- Ambas, las tareas correspondientes al desarrollo de la misión y las tareas correspondientes a las áreas de usuario son analizadas y revisadas para ser automatizadas.
- Se construyen prototipos de bajo nivel de las interfaces para evaluar conceptos y descubrir los problemas relacionados con estos diseños antes de entregar el producto definitivo.
- Ambos, controladores de sistemas críticos y usuarios prueban los prototipos para realizar las tareas más representativas.
- La aceptación de los productos finales precisa de criterios objetivos (cuantificables) de satisfacción en la realización de las tareas.

Pero también existen diferencias notables:

- Los usuarios de sistemas críticos poseen entrenamiento previo muy intensivo en sistemas ya desarrollados. Siempre se prefiere un sistema “easy-to-use” frente a un sistema “easy-to-learn”. [Wright y Monk 1991]
- Los diseñadores de sistemas críticos imponen requisitos muy prioritarios relacionados con la seguridad de sistemas críticos lo que acarrea redundancias y mecanismos de control que se traducen en sincronizaciones y sobrecargas tanto en el sistema como en los usuarios para desempeñar las tareas que permiten hacer estos sistemas.
- Entrenamiento muy costoso con muchas implicaciones económicas y reluctancia a cualquier cambio en los diseños actuales, lo que produce que las innovaciones tecnológicas siempre se incorporen con numerosos recortes en sus capacidades y tras largos períodos de pruebas.
- Dan lugar a perfiles de usuarios muy especiales con estándares y normas propios ajenos al diseño de interfaces comerciales. Son usuarios muy pragmáticos y con gran conocimiento del dominio.
- Por otro lado, algunos paradigmas correspondientes a factores de usabilidad son inviables en los controladores de sistemas críticos, como por ejemplo la subjetividad.
- Es muy frecuente encontrar numerosos casos de inconsistencia (“facilidades” y “limitaciones”) relacionados con la usabilidad debido a la “herencia” que reciben de los distintos fabricantes de equipos para la interfaz de los sistemas críticos (por ejemplo, las cabinas de avión deben seguir determinadas líneas de producto)

Las interfaces de Sistemas de Notificación se definen como interfaces usadas típicamente en sistemas de atención dividida, multitarea, para proporcionar información actual y valiosa al usuario de manera eficaz y efectiva sin causar distracciones no deseadas [McCrickard et al. 2003a]. Para ello, todos los Sistemas de Notificación requieren que el usuario les preste algún grado de atención [McCrickard et al. 2003b].

Otras definiciones caracterizan a los Sistemas de Notificación como interfaces que usan técnicas de pantallas de información periféricas o de ambiente, múltiples vistas coordinadas y pantallas secundarias para proporcionar información al usuario durante operaciones multitarea como las cabinas de aviones modernos. [Bartram y Czerwinski 2002; Cadiz et al. 2003; McCrickard et al. 2003b].

Como guías para el diseño de Sistemas de Notificación de sobremesa se han aplicado teorías como el ‘principio de Horvitz’ basado en una mezcla de iniciativas [Horvitz 1999] y la utilidad de la atención del usuario, cuando se fusiona la información procedente de varios flujos de comunicación.

Sin embargo estas definiciones y guías de diseño no tienen en cuenta dos elementos muy importantes en un sistema crítico: que puede ser multiusuario, y las situaciones degradadas y de emergencia a las que pueden estar sometidos los usuarios. Por lo tanto, las definiciones anteriores deberían re-escribirse en la siguiente forma:

Los Sistemas de Notificación se definen como interfaces usadas típicamente en sistemas de atención dividida, multitarea, para proporcionar información actual y valiosa al usuario de manera eficaz y efectiva en cualquier contexto, normal o anormal, y para todos los usuarios del sistema que interaccionen. Estas interfaces pueden usar técnicas de pantallas de información periféricas o de ambiente, múltiples vistas coordinadas y pantallas secundarias como técnicas principales. En ningún caso, un sistema de notificación debe tomar una decisión en vez del usuario.

Existe una gran variedad de Sistemas de Notificación desarrolladas en múltiples plataformas:

- La representación del tráfico de una red realizada por [Weiser y Brown 1996].
- The Scope [van Dantzich et al. 2002], Sideshow [Cadiz et al. 2001] e Irwing [McCrickard 1999] se caracterizan por su intento de proporcionar información de interés en un solo vistazo con sistemas de sobremesa, en un espacio limitado de la pantalla, sin distraer la atención del usuario ni resultar irritantes, en tamaños limitados de la pantalla.
- Frente a las limitaciones en la pantalla [Harrison et al. 1995] proponen elementos transparentes como interfaz de usuario, distribuidos en capas y con multiplexación de espacios.
- Otras aplicaciones de sobremesa como el agente de Microsoft Office (*Clippit*) o el agente Rhodes and Maes' Remembrance [Rhodes y Maes 2003] están pensadas para usarse en conjunción con otras tareas, guiando al usuario o mejorando las tareas que realiza, sin tener en cuenta la posible distracción del usuario.
- En el entorno aumentado MacIntyre's Kimera para oficinas [MacIntyre et al. 2001] e Informative Art [Redström et al. 2000] preconizan el uso de grandes pantallas en el entorno del usuario para presentar información.
- Los objetos físicos como los ojos o flores artificiales también se han usado como '*phidgets*' (*physical widgets*) [Greenberg y Fitchett 2001] para visualizar información relativa a estados.
- Los Sistemas de Notificación también se extienden a la computación ubicua, tales como los sistemas de navegación e información "vestible" (*wearable*) [Rhodes et al., 1999], los Head-Up Displays (HUDs) tradicionales en aviones y novedosos en automóviles, o las aplicaciones de realidad aumentada o bits tangibles [Ishii y Ullmer, 1997]

Un sistema de notificación puede caracterizarse por las tareas principales o primarias ('*key tasks*') que permite realizar y las limitaciones de uso ('*usage constraints*') de la interfaz al realizar las tareas principales o primarias.

Las principales tareas de un sistema de notificación en sistemas críticos incluyen:

- Recibir información más valiosa que la manejada en las tareas que ocupan en ese momento al usuario. Esta información más valiosa, típicamente avisos, implica una transición a otras tareas.
- Monitorización periódica del rango de los parámetros importantes para un sistema crítico, en intervalos largos de tiempo. La eficacia de esta tarea en periodos largos se consigue normalmente con entrenamiento o con la creación de hábitos en el usuario derivados de su uso prolongado.

- Inicio o expiración de eventos.
- Enviar órdenes urgentes al sistema para resolver situaciones de emergencia.
- Realimentación del sistema de notificación tras llevarse a cabo por parte de los usuarios las acciones derivadas de una notificación,
- Identificar fallos procedentes del control del sistema crítico

Un sistema de notificación no debe incluir entre sus tareas la ayuda sobre manejo del sistema crítico.

Las limitaciones de uso propias de cualquier sistema de notificación (no solamente en sistemas críticos) incluyen:

- complejidad y granularidad de la información (mensajes crípticos, superfluos o muy extensos),
- contexto (situaciones normales de operación o situaciones degradadas y de emergencia),
- recursos cognitivos de los usuarios (fundamentalmente, el número de tareas que puede realizar un usuario simultáneamente),
- familiaridad y entrenamiento previo,
- satisfacción de los usuarios,
- método que sigue el proceso de notificación: texto que cambia, presentación de series visuales rápidas, 'Rapid Serial Visual Presentation', de letras, palabras y sentencias [Foster 1970; Duchnick y Kolers 1983; Juola et al. 1982], y
- modo en que se presenta la información al usuario: colores y formas [Bartram 1998; Bartram et al. 2001; Enns y Rensink 1991; Healy et al. 1996; Healy y Enns 1999]

En la literatura se considera que los Sistemas de Notificación producen a menudo distracciones en el usuario, pero el grado en el que la producen aún no está bien entendido [Wickens y Hollands 2000].

Es necesario, a nivel de macroteoría, determinar en cada momento qué "inter-actor" es el controlador de la atención del usuario y cual es el componente de cambio en cada instante de tiempo. Los usuarios de un sistema crítico pueden estar realizando las tareas propias de control y supervisando al mismo tiempo la información proporcionada por el sistema de notificación. La tarea de monitorización del sistema de notificación reside en su mayor parte en las capacidades de visión y percepción periféricas de los usuarios, en tanto que las labores de control son los procesos que atraen su atención de forma primaria. En condiciones normales, tienen lugar situaciones oscilatorias en la atención de los usuarios entre el sistema crítico y el sistema de notificación. Sólo tras una señal de emergencia los usuarios llevarán su atención completamente a los procesos periféricos (indicadores, pantallas secundarias, etc.). Tras la interrupción los usuarios volverán a las tareas primarias de control, abandonadas tras la interrupción proporcionada por el sistema de notificación. Cuando el usuario se hace más experto en el sistema de control, su atención en los Sistemas de Notificación periféricos se hace más escasa y menos frecuente (también disminuye su atención en las tareas primarias de control del sistema crítico). En estas situaciones los Sistemas de Notificación deben adaptarse para atraer de forma periódica la atención del usuario aun en situaciones normales (pensemos por ejemplo, en los mensajes de voz requeridos a los pilotos de aviones militares para indicar al sistema que el piloto puede controlar el sistema o el "botón de hombre muerto" presente en todos los trenes).

El comportamiento del sistema de "inter-actores" puede verse como una trayectoria entre todos los posibles conjuntos de estados que forman la interacción. Esta trayectoria puede

dividirse en segmentos diferenciales (tal y como se hace en cinemática con los puntos del espacio ocupados por una partícula). Las transiciones entre estados son consecuencia de la configuración (condiciones iniciales de la partícula), capacidades (fuerzas a la que está sometida la partícula y que harán cambiar su cantidad de movimiento), requisitos (condiciones de contorno) y patrones de interacción (leyes de dinámica que rigen la trayectoria de la partícula) de los “inter-actores” que componen el sistema. Los subsistemas distribuidos detallados en la sección 2.5 son los “inter-actores” básicos de un sistema psicológico y proporcionan las microteorías básicas sobre las que debe construirse cualquier macroteoría.

Cada uno de estos segmentos representa la configuración del sistema en “muy corto plazo” (vector posición r de la partícula en un tiempo dt). Una fase de actividad es una secuencia de segmentos de muy corto plazo entre segmentos relacionados (Δr , Δt). Una transición de una fase a otra se asocia con cambios de largo plazo en el sistema.

Una interrupción enviada por el sistema de notificación al usuario puede considerarse como un segmento. Las acciones correspondientes a esta interrupción tomadas por el usuario pueden considerarse como fases de actividad. Distintas interrupciones y señales de emergencia darán lugar a transiciones de largo plazo.

La evaluación de un sistema de notificación debe verificar que no se producen dos segmentos de forma simultánea (una partícula no puede ocupar dos puntos del espacio en el mismo instante de tiempo) y que las fases de actividad no sean tan largas que hagan que el usuario no recuerde cual es el origen de sus acciones ni ha realizado todas las acciones asociadas a un determinado segmento. De acuerdo con las propuestas de Newell [Newell 1990] un segmento debe durar 200 ó 300 milisegundos y una fase puede durar hasta 10 segundos [Barnard y May 1999].

2.3. Evaluación de usabilidad

Del contenido de este capítulo pueden identificarse los principales problemas y carencias encontrados en la evaluación de la interfaz humano-computador de un sistema y más en concreto, de la interfaz de un sistema de notificación para un sistema crítico.

La totalidad de la ingeniería en nuestros días concede una gran importancia a la **evaluación**, aunque extrañamente son pocos los esfuerzos dedicados a seguir un método de evaluación de forma sistemática.

A menudo la evaluación aparece en la literatura como un proceso directo que debe seguirse paso a paso, aunque en el mundo real el proceso de evaluación suele realizarse de forma iterativa con algunas fases realizadas en paralelo y bajo una gran presión. El proceso de evaluación puede ser el resultado del compromiso entre pruebas rigurosas por un lado y la falta de recursos y la limitación de tiempo disponible por otro [Preece et al. 2002]

La **evaluación de usabilidad** comprende una serie de metodologías para medir la usabilidad de la interfaz de usuario de un sistema e identificar problemas específicos [Dix et al. 1998; Nielsen 1993]

Para Raskin [Raskin 2000] la evaluación es el proceso de recolección sistemática de datos (y no olvidemos que un mal dato es mejor que no tener ningún dato) que nos informa acerca de lo que quiere un usuario o un grupo de usuarios al usar un producto para realizar una tarea concreta en un determinado entorno.

Nuevamente esta definición, tan general, no tiene en cuenta dos aspectos clave en la interfaz de cualquier Sistema Crítico:

1. El uso de estándares prima sobre las preferencias de los usuarios. No son los usuarios quienes con sus preferencias especifican la interfaz. Por el contrario, son los usuarios quienes deben adaptarse con entrenamiento a la interfaz; desde el punto de vista cognitivo, cuando se realiza una tarea repetidamente, ésta tiende a ser más fácil de realizarse.
2. La variedad de entornos en los que puede actuar un Sistema Crítico y la variedad de situaciones, desde situaciones normales a situaciones degradadas y de emergencia.

Relacionado con las interfaces de usuario, y más en concreto, con las interfaces de los Sistemas de Notificación de sistemas críticos, ¿por qué es importante la evaluación en la ingeniería de la usabilidad?

Algunos autores [Raskin 2000; Preece 2002] responden a esta cuestión afirmando que sin evaluación los diseñadores no pueden estar seguros de que su software sea usable y que haga lo que usuarios esperan de él. No obstante, esta afirmación no tiene en cuenta que una interfaz de usuario no es solamente software. Este aspecto se pone mucho más de manifiesto en las interfaces de los sistemas críticos, en los que muy común encontrar un sistema de seguridad alternativo, meramente mecánico y electrónico, sin software (por ejemplo, botones de emergencia y de parada basados en el corte del suministro eléctrico de cualquier sistema crítico).

Independientemente de si las interfaces están constituidas por software o no, la importancia de la evaluación es capital, aunque desafortunadamente muchos desarrolladores de sistemas consideran que la mayor parte de los métodos empleados en usabilidad (entre los que se encuentra la evaluación) son intimidatorios, difíciles de seguir y un desperdicio de tiempo [Nielsen 1994]. Otros autores consideran los tests de usabilidad de utilidad limitada, cuya única aportación es la evidencia anecdótica de cómo una caja negra (el ser humano) interacciona con otra (el sistema crítico) [Erdos 2005]

No obstante, los beneficios conseguidos al emplear algún método “razonable” de ingeniería de usabilidad para evaluar una interfaz de usuario, antes de entregarla, son mucho más grandes que los beneficios obtenidos al aplicar el método correcto en cualquier proyecto de ingeniería, tal como se establece en [Nielsen 1993]. Siempre es mejor (más barato en tiempo y dinero) evaluar que solucionar problemas. Por ejemplo, en la interfaz de los pilotos con los motores de un avión siempre se realiza una evaluación para asegurar que el número de revoluciones por minuto (RPM) del motor tenga una precisión de 1 ó 2 cifras decimales: una cifra puede hacer que el sistema parezca poco preciso, pero si la segunda cifra decimal (que representa el 0,01% del empuje entregado por un motor, sin mucho valor para su funcionamiento) oscila constantemente entre dos valores, hará que los usuarios de forma subjetiva tengan una apreciación negativa del sistema global, se sientan incómodos y pierdan la confianza en el sistema. Como resultado, toda la flota de aviones con esta interfaz (normalmente más de un millar repartida en varios países) tendrá que permanecer en tierra y tendrá que ser revisada hasta que se encuentre una solución aprobada por los usuarios.

Actualmente el principal método de diseño de interfaces es un proceso iterativo [Dix et al. 1998; Nielsen 1993] basado en evaluaciones formativas empíricas. En cada una de estas iteraciones se miden las prestaciones de cada versión de la interfaz y se compara con el resto de versiones. La interfaz final será aquella que ofrezca mejores prestaciones medias en la ejecución de tareas, sin que intervenga ningún fundamento teórico que soporte esta decisión. Simplemente depende de las medidas disponibles en ese momento, del juicio que los expertos en evaluación hagan de estas medidas y de la experiencia de los evaluadores en diseños similares. Esta aproximación es lenta, costosa y no siempre ofrece el mejor de los diseños posibles. El propósito de las teorías cognitivas de modelos computacionales y del comportamiento humano, y de los métodos de evaluación es simular la interacción hombre-máquina para limitar el número de iteraciones necesarias en el desarrollo de una interfaz (idealmente el número de iteraciones debe ser uno) para asegurar una buena calidad de la interfaz.

Podemos comprobar que existe acuerdo en que la evaluación en IHC precisa de una recogida de datos para conocer, pero no sucede lo mismo con el método empleado para recoger estos datos. En la siguiente sección se escriben los principales métodos de evaluación.

2.4. Taxonomías de métodos de evaluación de usabilidad

En este capítulo se describen las principales taxonomías de los métodos de evaluación existente para interfaces WIMP⁹. Se pone de manifiesto:

- (1) la enorme **variedad de métodos existentes**, con una enorme variedad de actividades implicadas dependiendo del método;
- (2) su **incapacidad para cubrir todos los aspectos** relacionados con la interfaz de un sistema;

⁹ Window Icon Menu and Pointer

- (3) la ausencia de métodos que proporcionen datos **cuantitativos**; y
- (4) la **carencia de criterios** objetivos para clasificarlos de forma satisfactoria.

Desde los años noventa hasta hoy en día se han publicado un gran número de métodos de evaluación en ingeniería de la usabilidad. También se han propuesto distintas clasificaciones de los mismos sobre la base de distintos criterios. A continuación se citan los tipos y métodos de evaluación más empleados.

La taxonomía más empleada [Cuotas 1995] es la que distingue entre evaluación predictiva (por ejemplo: GOMS, recorridos cognitivos detallados, basados en modelos cognitivos) y técnicas experimentales (por ejemplo: tests de usabilidad).

Para Whitefield et al. [Whitefield et al. 1991] los métodos de evaluación pueden clasificarse en dos dimensiones, ambas con valores discretos: en una dimensión, si se implica o no en la evaluación a usuarios reales y en la segunda dimensión si la interfaz a evaluar ha sido ya implementada o solamente están disponibles los prototipos. Evidentemente, el caso óptimo para realizar la evaluación es aquel en el que se puede disponer de usuarios reales trabajando con el sistema real.

Balbo [Balbo 1995] propone una clasificación basada en la automatización y distingue cuatro aproximaciones a la automatización:

- (1) Sin automatizar: métodos realizados por especialistas en factores humanos;
- (2) Captura automática: métodos que dependen de software de registro para información relevante del sistema y del usuario (acciones del teclado, ratones, datos visuales y de voz);
- (3) Análisis automático para identificar problemas de usabilidad;
- (4) Automatización crítica, para no solamente detectar dificultades sino también para proponer mejoras.

Ivory y Hearst proponen otra taxonomía [Ivory y Hearst 2001] siguiendo un esquema de cuatro dimensiones:

- (1) Clase del método, para describir el tipo de evaluación realizada a alto nivel (por ejemplo, simulación o test de usabilidad).
- (2) Tipo de método, para describir cómo se realiza la evaluación en cada clase del método, como protocolo pensando en voz alta (de la clase test de usabilidad) o modelizado de la información (simulación).
- (3) Tipo de automatización, para describir los aspectos de la evaluación que están automatizados (captura de datos, análisis o crítica).
- (4) Nivel de esfuerzo, para describir el tipo de esfuerzo necesario para llevara cabo un método (por ejemplo, modelo de desarrollo o interfaz desarrollada).

Según Hom en [Hom 1998] se pueden establecer tres tipos generales de métodos de evaluación:

1. **Experimentación ('Testing')**: Los evaluadores emplean los resultados obtenidos con usuarios representativos utilizando el sistema (o prototipo) en tareas típicas. Los resultados se emplean para comprobar cómo soporta la interfaz de usuario las tareas realizadas por los usuarios.

Los métodos más representativos de este tipo de evaluación son:

- Instrucción o entrenamiento

- Aprendizaje por descubrimiento colaborativo
 - Medida de prestaciones
 - Protocolo pregunta-respuesta
 - Experimentación remota
 - Experimentación retrospectiva
 - Método “en la sombra”
 - Método “de enseñanza”
 - Protocolo de “pensamiento en voz alta”
 - Análisis de ficheros de registro
2. **Inspección (‘Inspection’)**: Expertos en usabilidad, y en ocasiones desarrolladores de software (con conocimiento de un estilo particular de interfaz gráfica), usuarios (con conocimiento de las tareas) y otros profesionales, evalúan la usabilidad basados en guías de diseño [Nielsen y Mack 1994]. Una descripción detallada de estos métodos puede encontrarse en [Nielsen y Mack 1994].

Los métodos de evaluación más representativos son:

- Evaluación heurística
 - Revisiones de guías de diseño
 - Recorridos plurales de usabilidad
 - Inspecciones de consistencia
 - Inspección basada en la perspectiva y estándares
 - Recorridos cognitivos detallados]
 - Inspección de características
 - Inspección formal de usabilidad
3. **Investigación o sondeo (‘Inquiry’)**: Los evaluadores obtienen datos de las necesidades, gustos y concepto mental del sistema a través de conversaciones con los usuarios, observándoles usando el sistema en las tareas diarias, o con entrevistas orales o escritas. Los métodos de evaluación más representativos encuadrados en este tipo son:

- Investigación contextual
- Realimentación de los usuarios
- Fotografías instantáneas de las pantallas
- Observación de campo
- Grupos de discusión focalizados
- Entrevistas
- Grabación del uso (‘logging’)
- Estudios de campo proactivos
- Cuestionarios

Además en la taxonomía de [Ivory y Hearst 2001] aparecen las siguientes clases y tipos de métodos dentro de cada clase:

- **Modelado analítico**
 - GOMS
 - Análisis UIDE
 - Análisis de tareas cognitivas
 - Análisis del entorno de las tareas
 - Análisis de conocimiento
 - Análisis de diseño
 - Modelos programables de usuario
- **Simulación**
 - Modelado de los procesos de información
 - Modelos de redes de Petri
 - Modelado de algoritmos genéticos
 - Modelado de rastros de la información

La aplicación de un determinado método depende de la etapa en la que se encuentre el desarrollo, de los recursos disponibles, y del juicio técnico y la experiencia del evaluador ([Raskin 2000; Nielsen 1993, página 170; Hix y Hartson 1993]).

Estos métodos pueden aplicarse varias veces ó una sola vez en el ciclo de vida del desarrollo de la interfaz de usuario, dando lugar a la evaluación **formativa** y **sumativa**. La *evaluación formativa* permite ir verificando la incorporación de los requisitos en el diseño por medio de prototipos iterativos testados por usuarios. Los resultados de cada etapa alimentan la etapa siguiente, permitiendo la mejora del diseño [Hix y Hartson 1993]. La evaluación formativa permite centrar la evaluación en requisitos específicos, mejor que evaluar permanentemente todo el conjunto de requisitos. Lo ideal es evaluar requisitos relativos a prestaciones que permitan responder las siguientes cuestiones:

1. ¿Qué alternativas de diseño debería adoptarse entre las disponibles?
2. ¿Se ha detectado algún problema en el diseño ya consolidado? ([Newman y Lamming 1995])

Sin embargo, estas evaluaciones son costosas en tiempo y además el proceso de diseño se paraliza mientras se lleva a cabo la evaluación, lo que penaliza enormemente un proyecto con planificaciones muy ajustadas. Como consecuencia, en numerosas ocasiones las evaluaciones formativas se abandonan y en su lugar se emplean las *evaluaciones sumativas*, realizadas únicamente al final del diseño, para decidir si éste cumple todos los requisitos de usabilidad.

Según [Hix y Hartson 1993] existe una gran probabilidad de que en este caso, el diseño final no cumpla todos los requisitos. Si el número de fallos es muy grande la tarea de corrección puede ser demasiado grande para el tiempo disponible hasta el fin del diseño. Por tanto, su mejor aplicación será para decidir entre dos alternativas globales o como parte de un análisis competitivo ([Nielsen 1993]).

La técnica *'thinking aloud'* es un método típico de evaluación formativa, en tanto que los tests de medidas de prestaciones son un método típico de evaluación sumativa

Según [Nielsen y Mack 1994] existen cuatro formas básicas de realizar una evaluación:

1. **Automáticamente**, con medidas de usabilidad realizadas con un software específico de evaluación;
2. **Empíricamente**, realizando pruebas de usabilidad con usuarios reales.;
3. **Formalmente**, empleando modelos y fórmulas exactas para realizar medidas de usabilidad; e
4. **Informalmente**, basadas en “reglas de oro” y “reglas del pulgar”, y en la experiencia y conocimiento de los evaluadores.

Los métodos automáticos actualmente no funcionan de forma correcta (como por ejemplo los modelos de software¹⁰ de la teoría EPIC entre otros) y una evaluación formal es muy difícil de aplicar y además de no ser posible escalar las conclusiones obtenidas a sistemas más complejos y a sistemas con una alta interacción con los usuarios.

Los métodos empíricos son los más profusamente empleados, siendo, entre ellos, las pruebas de usabilidad (*'Usability testing'*) el método más empleado, en tanto que los métodos de evaluación basados en la inspección pertenecen a la categoría de métodos informales.

Más concretamente y relacionado con los métodos de evaluación de Sistemas de Notificación, según Scott McCrickard et al. en [McCrickard et al. 2003a; Manco et al. 2003; Brooker, Chewar y Scott MacCrickard, 2004] son muy pocos los esfuerzos que aparecen en la literatura acerca de la evaluación de las interfaces correspondientes a los Sistemas de Notificación. Mucho más penoso es tratar de encontrar literatura acerca de la evaluación de usabilidad y diseños de interfaces correspondientes a Sistemas de Notificación como parte de un Sistema Crítico. En algunos casos [Ballas et al. 1992], los autores afirman que la evaluación

¹⁰ ftp://www.eecs.umich.edu/people/kieras/EPIC/EPIC_distribution.

es difícil, tanto en la definición de los parámetros a evaluar como la evaluación en sí misma, y proponen que los objetivos se establezcan en la fase de requisitos de la interfaz.

2.5. Microteorías y Macroteorías en los métodos de evaluación en IHC

El método de evaluación predictiva desarrollado en esta tesis tiene su fundamento teórico en las teorías cognitivas existentes. En esta sección se describen las principales teorías existentes en la actualidad y que han sido la base teórica del modelo predictivo incluido en el marco de evaluación desarrollado en esta tesis.

En la ingeniería tradicional, el diseño de un sistema precisa conocer y entender completamente cómo interacciona con otros sistemas y cómo influyen en su comportamiento las condiciones del entorno en el que opera (el rango de operación típico de sistema crítico de un avión comprende temperaturas desde -70° C hasta 120° C para los sistemas de avión, y desde -20° C hasta 55° C para los usuarios, bajo cualquier condición meteorológica y en cualquier condición de visibilidad, incluida la nocturna). Sin embargo el diseño de una interfaz humano-computador se realiza sin responder a las siguientes cuestiones:

- ¿Hasta qué punto podemos modelar cómo procesa la información el cerebro humano?,
- ¿Conocemos cómo utiliza el usuario de un sistema crítico las distintas posibilidades de controlarlo?,
- ¿Cuánto tiempo conserva el usuario de un sistema crítico complejo las habilidades aprendidas en su período de entrenamiento?,
- ¿Cómo se comporta el ser humano en condiciones extremas de estrés y de fatiga al interactuar con una computadora?,
- ¿Cómo se reparte un ser humano las tareas de control con otros usuarios en el control de un sistema crítico al producirse una situación de emergencia?

El diseño y evaluación de sistemas IHC ha evolucionado mucho más deprisa que las teorías basadas en la psicología y en ciencia cognitiva y aún no hay respuesta para muchas de estas preguntas. Así, mientras la evolución en el diseño ha pasado desde los editores de línea y las aplicaciones programadas a la carta con interfaces reducidas a líneas de comandos hasta los procesadores de texto con interfaces WIMP, los sistemas de recuperación de la información, agentes inteligentes, servidores CSCW, entornos virtuales, realidad aumentada, bits tangibles, computación ubicua y wearable, la *web*, los videojuegos y todo tipo de interfaces capaces de conversar y mostrar emociones, la evaluación de la "usabilidad" de estas interfaces ha mejorado basándose en métodos heurísticos y evaluaciones empíricas [Nielsen 1993]. Sin embargo la evaluación basada en la teoría se ha considerado tradicionalmente de un valor muy limitado [Landauer 1987]

Las teorías existentes tienen un ámbito muy limitado, aplicables únicamente a características locales a una interfaz y con una capacidad muy limitada para ser re-usadas en otros diseños del mundo real, alejados de los laboratorios. Aunque se intenta evolucionar para desarrollar teorías que cubran un mayor número de problemas, la mayor parte son ajustes para explicar aplicaciones del día a día [Rudisill et al. 1996].

Incluso, y aunque estas teorías basadas en los procesos cognitivos del ser humano se desarrollasen rápida y profundamente, es muy improbable que tuviesen un impacto inmediato en el mundo real: ya están funcionando satisfactoriamente demasiadas aplicaciones, muy variadas y complejas, usadas por muchos usuarios, para cambiarlas, aunque se consigan a partir de una teoría que las explique totalmente. Pensemos, por ejemplo, en cambiar los teclados QWERTY poco convenientes para los usuarios no anglosajones, o en la conveniencia de unificar los teclados de los teléfonos móviles con las calculadoras y los teclados de los computadores, o en unificar todas las cabinas de aviones tripulados o los puestos de conducción de los automóviles, situados a la izquierda o a la derecha dependiendo del país.

En la actualidad, el diseño se ve más influenciado por el desarrollo de nuevas metodologías como el diseño *basado en escenarios* [Caroll y Rosson 1992] o el diseño *bsus* [MacLean et al. 1991] o se desarrollan teorías informales que ayudan representar los problemas importantes de una interfaz muy concreta. De acuerdo con [Barnard et al. 2000] podría llegar a producirse la misma situación que se produjo con las distintas escuelas de psicoanálisis.

La mayor parte de las teorías existentes hoy en día presentan una disposición por capas. Así, [Chapanis 1996] emplea diagramas jerárquicos para reflejar la agrupación de software, hardware y usuarios para formar un sistema completo.

Un [sub]sistema, desde un punto de vista cognitivo, es “una colección de componentes unidos según alguna disposición y que interactúan entre sí para producir un único comportamiento a nivel de sistema. En un sistema con varios niveles, los componentes de un determinado nivel están formados por sistemas del nivel inferior y así sucesivamente” [Newell 1990].

Cada uno de estos subsistemas componentes del sistema global se explica en términos de una “**microteoría**”, propia de cada subsistema. En un sistema compuesto de varios subsistemas, una “**macroteoría**” explica como interaccionan entre todos los subsistemas para formar el sistema global. En algún momento, una “macroteoría” formará parte de un sistema más amplio y será necesaria una “macroteoría” más amplia. Se precisa por tanto, la unificación de teorías que capture las características comunes de cualquier sistema a un determinado nivel en la cadena de composición. Según [Marr 1982] esta abstracción debe centrarse en las necesidades de los usuarios para realizar tareas con una computadora desde teorías algorítmicas y de hardware. Para llevar a cabo una tarea no es suficiente disponer únicamente de teorías de hardware y de algoritmos, especialmente en los Sistemas de Notificación de un sistema crítico, en los que el mismo usuario puede responder de muy distinta forma según el contexto en el que se realice la tarea, aunque no cambien ni el hardware (interfaz con el usuario), ni el algoritmo que permita realizar la tarea (software).

Las principales teorías cognitivas desarrolladas hasta el día de hoy son SOAR ([Laird et al. 1987] [Newell 1990]), ACT-R [Anderson 1993], EPIC [Meyer y Kieras 1997], ICS [Barnard 1985] y la teoría de recursos compartidos o limitados de [Wickens y Hollands, 2000]. MIDAS (“*Man-machine Integration Design and Analysis System*”) es una herramienta 3-D de prototipado rápido que incluye un modelo cognitivo [Gore y Jarvis. 2005] cuyo dominio original fueron las cabinas de helicópteros, pero sus fundamentos cognitivos no están bien documentados y no está claro cómo está programado [Kieras 2005].

A continuación se describen sumariamente las principales teorías de procesamiento humano de la información.

2.5.1. ACT-R (Adaptative Control of Thought)

ACT-R es un modelo de sistema de producción que intenta explicar el proceso cognitivo humano desarrollando estructuras de conocimiento.

En un sistema de producción, la información actualmente activa (como sucede en la memoria de trabajo) se compara con unas reglas de producción. Las reglas de producción son sentencias del tipo IF-THEN como las de cualquier lenguaje de programación. Una regla de producción se ejecuta cuando se cumple la condición del IF. La cognición IF contiene un objetivo (por ejemplo, sumar dos números) y una parte de conocimiento declarativa (por ejemplo, el hecho de que $3+4=7$).

Hay dos tipos de representación del conocimiento en ACT-R, conocimiento declarativo y conocimiento de procedimiento. El conocimiento declarativo corresponde a las cosas y los hechos que conocemos (y que sabemos que conocemos) y que permiten describir otras cosas, conocemos el qué (“Un átomo es como un sistema solar”). El conocimiento de procedimientos es el conocimiento de cómo hacer cosas (conocemos el cómo), aunque no seamos conscientes de que lo sabemos. Siempre se definen en términos del conocimiento declarativo. Por ejemplo, no podemos describir las reglas por las que hablamos un lenguaje, aunque lo hablemos.

En ACT-R el conocimiento declarativo se representa en estructuras conocidas como ‘trozos’ o ‘partes’ (*chunks*), en tanto que el conocimiento de procedimientos se

representa con reglas conocidas como reglas de producción. Ambas estructuras se entrelazan y son los bloques básicos de ACT-R. Los *chunks* representa el conocimiento que una persona puede esperar que posea en la resolución de un problema. Un chunk se define por su tipo (*type*) y su extensión (*slot*). Puede considerarse que los tipos de chunk son categorías (por ejemplo pájaros) y las extensiones como atributos de la categoría (color o tamaño). Un trozo o fragmento también tiene un nombre para referenciarlo, pero no se considera como una parte de él (no es conocimiento).

Por ejemplo, en la oración 'el perro cazó al gato', el tipo del primer trozo es 'cazar' y sus extensiones son el *agente* (cazador) y el *objeto* (cazado). El trozo 'esun' es especial y especifica el tipo de trozo.

```
Acción023
  esun   caza
  agente perro
  objeto gato
```

A continuación se reproduce un ejemplo de regla de producción:
Supongamos que una persona intenta solucionar las siguientes ecuaciones:

$$2x+4 = 8 \text{ (Ecuación 1)}$$

$$2x=4 \text{ (Ecuación 2)}$$

y hay que determinar cómo están relacionados.

La persona sabe que $4+4=8$ (un trozo de conocimiento declarativo). La persona puede emplear este trozo para trasladar la ecuación 1 a la ecuación 2 a través de la siguiente regla de producción:

IF el objetivo es solucionar argumento + n1 = n3

And n1 + n2 = n3

THEN hacer un objetivo para solucionar la ecuación arg = n2

Para nuestro ejemplo:

IF el objetivo es solucionar $2x+4 = 8$

And $4 + 4 = 8$

THEN hacer un objetivo para solucionar la ecuación $2x = 4$

Para crear trozos, tipos de trozos y reglas de producción hay que emplear los comandos ACT-R necesarios. Todos los comandos ACT-R son funciones Lisp.

La versión actual es ACT-R06. Más información y el entorno puede encontrarse en <http://act.psy.cmu.edu> (Visitado por última vez el 12 de junio de 2.006)

2.5.2. SOAR

SOAR es también una arquitectura cognitiva general, basada en reglas de producción. A diferencia de ACT-R no distingue entre conocimiento declarativo y de procedimientos [Howes y Young, 1997]. SOAR puede ser considerado como un **lenguaje de programación** (ver Figura 2), limitando muy levemente el modo en el que la actividad mental (como puede ser el aprendizaje) se modela.

Como teoría cognitiva proporciona integra todos los procesos mentales que el ser humano utiliza en el procesamiento de la información, incluyendo:

- Uso de la memoria de corto y largo alcance.
- Resolución de problemas complejos.
- Acción dirigida a obtener unos determinados objetivos.

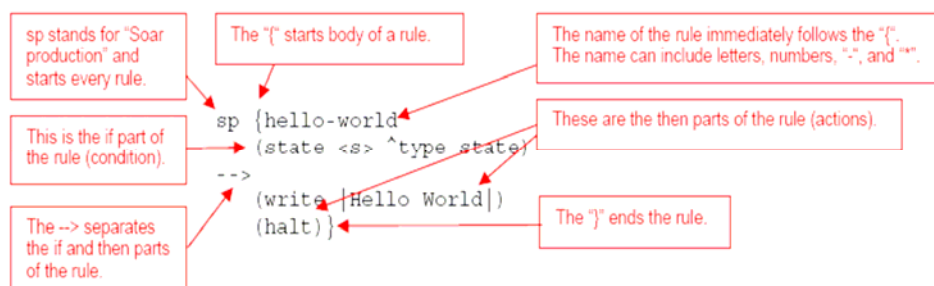


Figura 2 SOAR como lenguaje de programación

- Planificación.
- Reacción ante interrupciones.
- Interacción con entornos externos complejos.
- Aprendizaje.

El conocimiento se representa en la memoria de corto alcance como una **red** de símbolos activos y como un conjunto de reglas condición-acción en la memoria de largo alcance. Las condiciones de cada regla forman un patrón que se compara con los símbolos activos de la red. Cuando se cumplen las condiciones de la comparación se ejecutan las acciones de la regla. Estas acciones pueden dar lugar a la inserción (o el borrado) de símbolos en la memoria de corto alcance.

Para manejar la complejidad, SOAR incluye una jerarquía de objetivos, permitiendo la descomposición sucesiva de problemas en subproblemas. Un agente permite incluir nuevos objetivos en respuesta al sistema de conocimiento de largo alcance y de la situación actual.

Como lenguaje de programación, SOAR no se ejecuta de forma secuencial, sino que las reglas de producción se ejecutan en paralelo y las acciones pueden tener lugar en cualquier instante de tiempo para dar respuesta a los mecanismos de interrupción. SOAR incluye una representación uniforme del conocimiento conceptual y perceptual en la memoria de corto alcance. Esta representación cambia dependiendo de las acciones anteriores y del entorno. Este procesamiento rápido de comparación de patrones le permite a SOAR implementar el principio "*reconocimiento antes que recuerdo*" [Newell, 1990].

SOAR es el único modelo que recoge el principio "*reconocimiento antes que recuerdo*". Recordemos que el **recuerdo** describe la situación en la que se reproduce información almacenada en la memoria, en tanto que en un proceso de **reconocimiento** se proporciona información y hay que indicar si se corresponde con la información almacenada en la memoria. El **recuerdo** exige conocimiento contenido en nuestra memoria, en tanto que el **reconocimiento** implica conocimiento contenido en el mundo exterior. Aunque no seamos capaces de recordar algo, a menudo seremos capaces de reconocerlos como familiares, si alguna vez lo hemos visto o lo hemos oído [Wickens y Holland, 2000].

Para el mecanismo de aprendizaje automático se inspira en el concepto psicológico de trozos o fragmentos (*'chunks'*). SOAR aprende nuevos fragmentos a partir de las acciones que cambian la memoria de corto alcance.

SOAR se encuentra actualmente en su versión 8.6. En el sitio <http://www.soartech.com/> se pueden obtener varias herramientas (en la Figura 3 se puede ver un ejemplo de interacción con el entorno VISTA©) de libre distribución que permiten desarrollar con SOAR como lenguaje de programación.

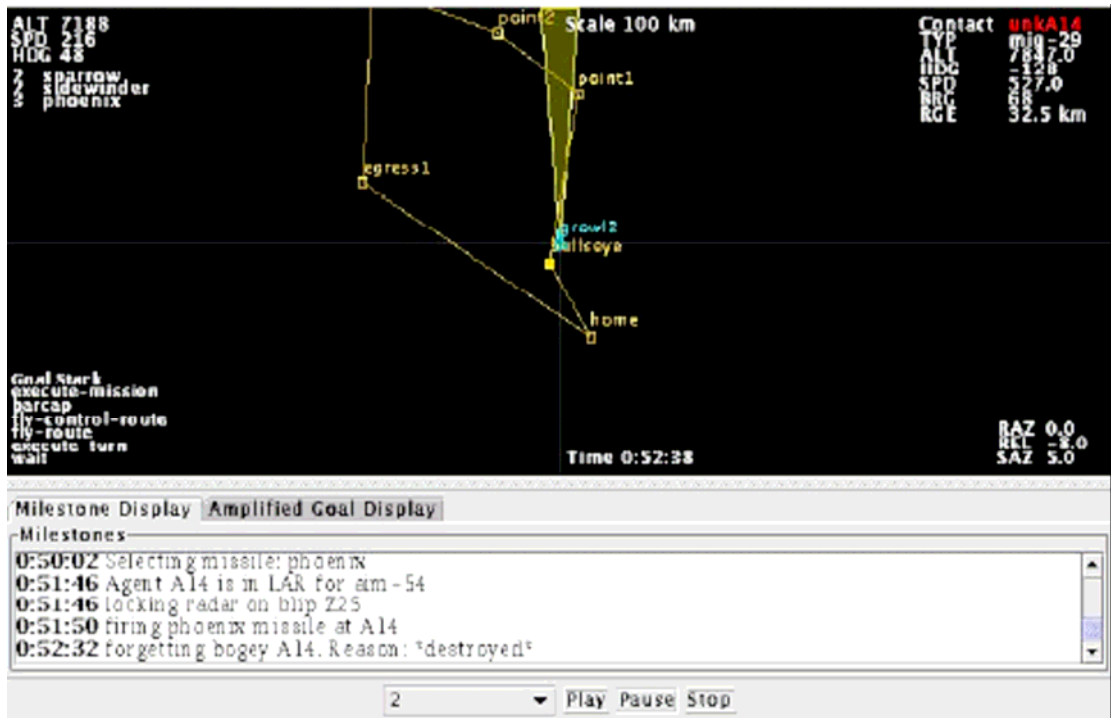


Figura 3 Entorno de desarrollo para SOAR

2.5.3. EPIC (Executive-Process/Interactive Control)

La teoría conocida como EPIC (*Executive-Process/Interactive Control*), descrita en la Figura 4, proporciona una arquitectura cognitiva y de percepción con reglas que permiten predecir dónde se centrará la atención del usuario y cómo abordará el usuario el reconocimiento y el entendimiento de la interfaz. EPIC representa una síntesis de los modelos existentes en la predicción de las prestaciones perceptivas del ser humano y sus prestaciones motoras, de las técnicas de modelado cognitivo y de las metodologías de análisis de tareas. El objetivo de la arquitectura EPIC es abstraer todos los resultados existentes en la literatura relativos al comportamiento de los seres humanos en su interacción con las computadoras (multitarea, limitaciones al procesar información, capacidad de memorización de corto y largo tiempo). Estas abstracciones conducen a reglas de producción y limitación (como por ejemplo la ley de Fitts), plasmadas en módulos de software que representen las capacidades conocidas del ser humano en el procesamiento de información.

Existe una implementación software de esta teoría [EPIC] ([Source code for EPIC \(text\)](#)) dentro del campo de la Inteligencia Artificial que genera los eventos correspondientes al movimiento de los ojos, teclas pulsadas y articulación vocal en los instantes precisos, y permiten obtener predicciones sobre el tiempo total al realizar una tarea, la secuencia y tiempo empleado en las acciones individuales al realizarla, la carga de trabajo mental del usuario (por ejemplo en la memoria de corto tiempo)

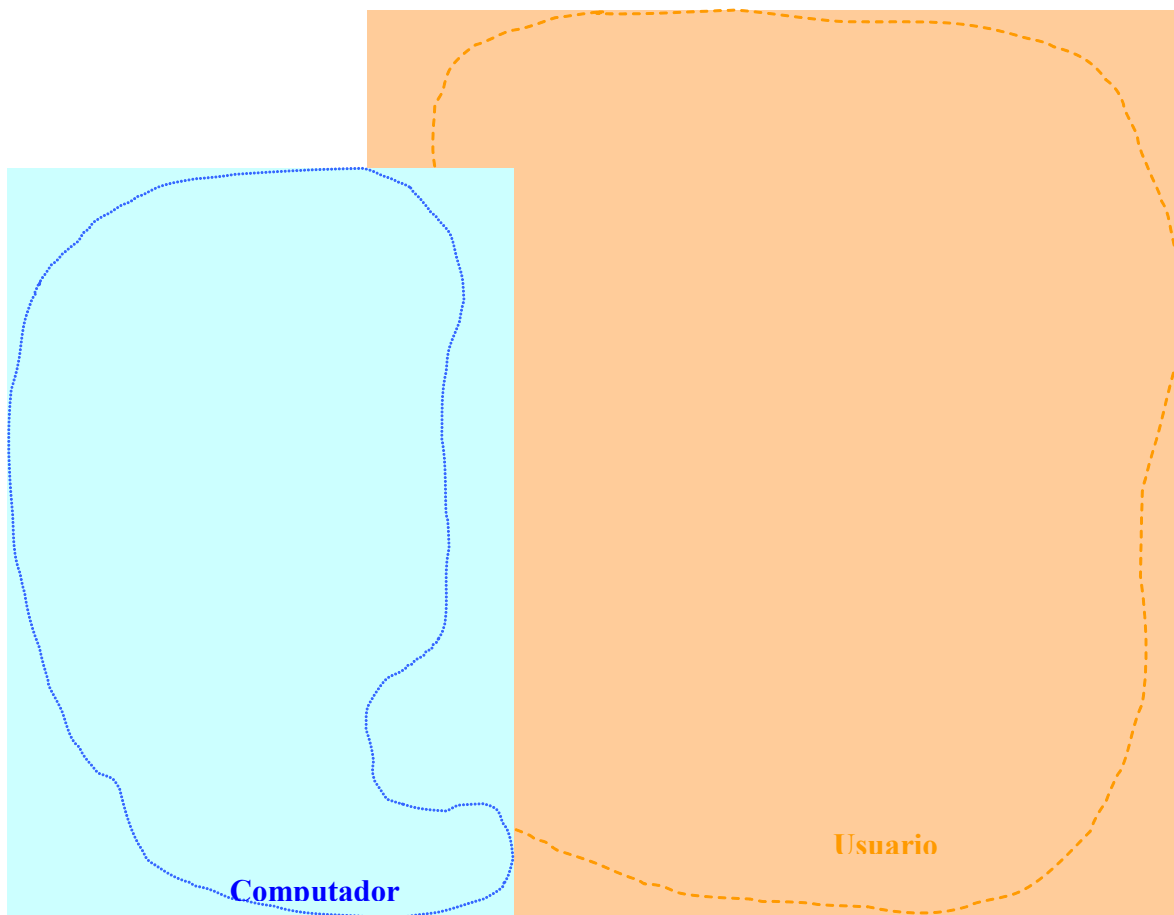


Figura 4 Arquitectura EPIC

Esta teoría es muy útil (comparable a GOMS) para predecir las prestaciones y el comportamiento del usuario, pero se hace impracticable cuando aumenta la complejidad de la interfaz [Sutcliffe 2000] como sucede en nuestro caso con Sistemas de Notificación complejos y con mucha casuística (el sistema de notificación de un avión tradicional cuenta con más de 600 situaciones anormales distintas).

Está considerado como el modelo de simulación de usuario más completo (frente a ACT-R, SOAR, ICS, GLEAN y CCT)

2.5.4. ICS (Interacting Cognitive Subsystems)

Los fundamentos de la teoría ICS (*Interacting Cognitive Subsystems*) se enumeran a continuación:

1. Se supone que la arquitectura mental del ser humano es un sistema distribuido (similar a un sistema distribuido de computadores).

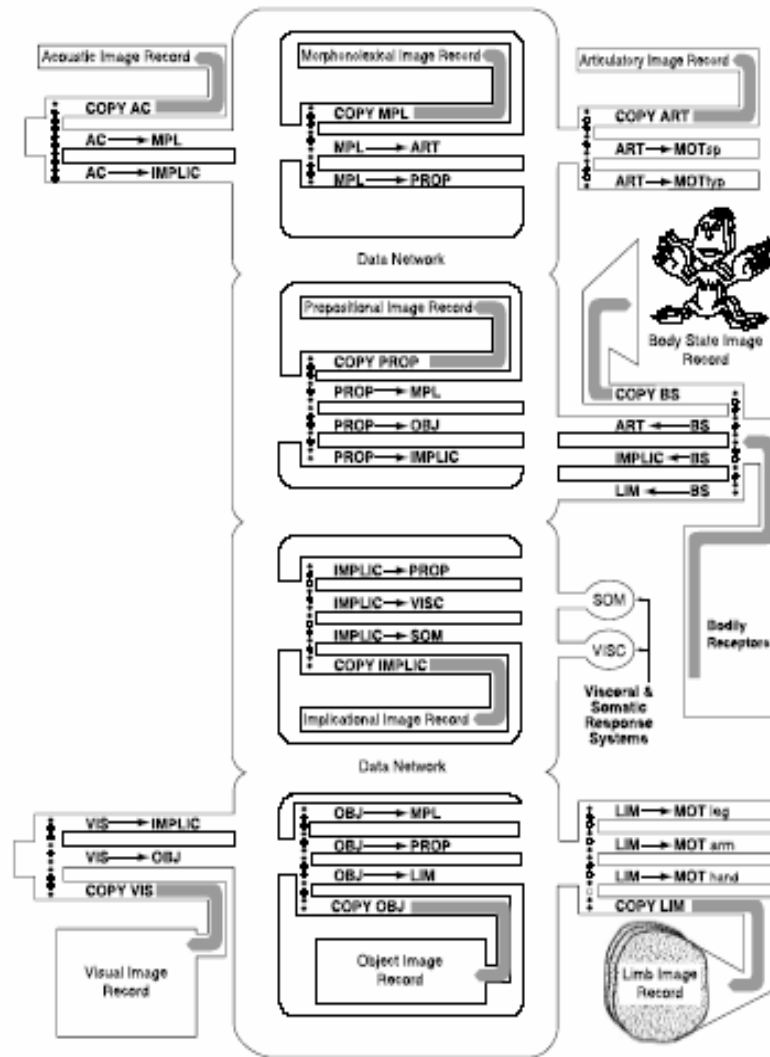


Figura 5 Arquitectura ICS

2. Se supone que la arquitectura mental del ser humano está constituida por nueve sistemas distribuidos:
- acústico,
 - visual,
 - morfo-fono-léxico,
 - proposicional,
 - implicativo,
 - representación espacial,
 - comunicación verbal,
 - movimientos de manos, pies y brazos, y
 - receptores del cuerpo

dispuestos como se muestra en la Figura 3.

Tres subsistemas *sensoriales* (acústico AC, visual VIS y receptores sensoriales BS) reciben información del exterior, incluida las respuestas somáticas y viscerales.

Dos subsistemas *ejecutores* (articulador ART para la comunicación verbal y límbico LIM para la coordinación y movimiento de manos, pies y brazos, labios y lengua) manejan la coordinación con el mundo exterior.

PERIPHERAL SUBSYSTEMS	
<i>a) Sensory</i>	
(1) Acoustic (AC):	Sound frequency (pitch), timbre, intensity etc. Subjectively, what we 'hear in the world'.
(2) Visual (VIS):	Light wavelength (hue), brightness over visual space etc. Subjectively, what we 'see in the world' as patterns of shapes and colours.
(3) Body State (BS):	Type of stimulation (e.g., cutaneous pressure, temperature, olfactory, muscle tension), its location, intensity etc. Subjectively, bodily sensations of pressure, pain, positions of parts of the body, as well as tastes and smells etc.
<i>b) Effector</i>	
(4) Articulatory (ART):	Force, target positions and timing of articulatory musculatures (e.g., place of articulation). Subjectively, our experience of subvocal speech output.
(5) Limb (LIM):	Force, target positions and timing of skeletal musculatures. Subjectively, 'mental' physical movement.
CENTRAL SUBSYSTEMS	
<i>c) Structural</i>	
(6) Morphonolexical (MPL):	An abstract structural description of entities and relationships in sound space. Dominated by speech forms, where it conveys a surface structure description of the identity of words, their status, order and the form of boundaries between them. Subjectively, what we 'hear in the head', our mental 'voice'.
(7) Object (OBJ):	An abstract structural description of entities and relationships in visual space, conveying the attributes and identity of structurally integrated visual objects, their relative positions and dynamic characteristics. Subjectively, our 'visual Imagery.'
<i>d) Meaning</i>	
(8) Propositional (PROP):	A description of entities and relationships in semantic space conveying the attributes and identities of underlying referents and the nature of relationships among them. Subjectively, specific semantic relationships ('knowing that').
(9) Implicational (IMPLIC):	An abstract description of human existential space, abstracted over both sensory and propositional input, and conveying ideational and affective content: schematic models of experience. Subjectively, 'senses' of knowing (e.g., 'familiarity' or 'causal relatedness' of ideas), or of affect (e.g., apprehension, desire).

Tabla 2 Subsistemas ICS

Cuatro subsistemas *centrales* manejan abstracciones de información: el subsistema morfo-fono-léxico MPL representa abstracciones auditivas procedentes de la palabra verbal (transforma ondas acústicas en contenidos semánticos), el subsistema proposicional PROP codifica la representación semántica en relaciones y referencias específicas (relaciones sintácticas entre palabras), el sistema implicativo IMPLIC representa relaciones semánticas más abstractas y genéricas (por ejemplo, el tono de la voz) y el subsistema encargado de la representación espacial y de los objetos OBJ.

Barnard y May realizaron una clasificación de estos procesos en forma tabular [Barnard y May 1995] que puede verse en la Tabla 2 Subsistemas ICS.

- Se supone que todos estos subsistemas están regulados por una serie de principios básicos: operan en tiempo real y en paralelo, procesando la información en el orden en el que llegan. La información que llega a un subsistema o bien es generada por otro subsistema o ha sido recuperada de la memoria.

4. Se supone que todos los tipos de representación mental tienen principios de construcción comunes y que se diferencian únicamente en la forma en la que ese codifica la información.
5. En todos y cada uno de estos sistemas distribuidos operan concurrentemente procesos que manejan diferentes aspectos de la vida mental (visión espacial, abstracciones verbales, representaciones semánticas,...). Hay tres tipos de procesos básicos:
 - a. Procesos que transforman un tipo de representación mental en otro. Por ejemplo, una percepción visual en la representación de un objeto.
 - b. Procesos que construyen representaciones duraderas. Por ejemplo, los recuerdos.
 - c. Procesos que graban y recuperan representaciones en la memoria

2.5.5. Teoría de los Recursos Múltiples

El modelo de procesamiento humano de la información por etapas mostrado en la Figura 6 proporciona un marco para analizar los distintos procesos cognitivos que intervienen en la interacción con sistemas y en la ejecución de tareas.

Según [Wickens y Hollands 2000] las dos principales características de este modelo son, primero, su representación en su serie de etapas, y, segundo, la existencia de un lazo de realimentación que sugiere que no hay un punto de partida en la secuencia de las operaciones del procesamiento de la información. Esta secuencia puede empezar con un estímulo del entorno o con una acción voluntaria del usuario iniciada en algún punto de la mitad de la secuencia.

A continuación se proporciona una descripción de cada una de las etapas:

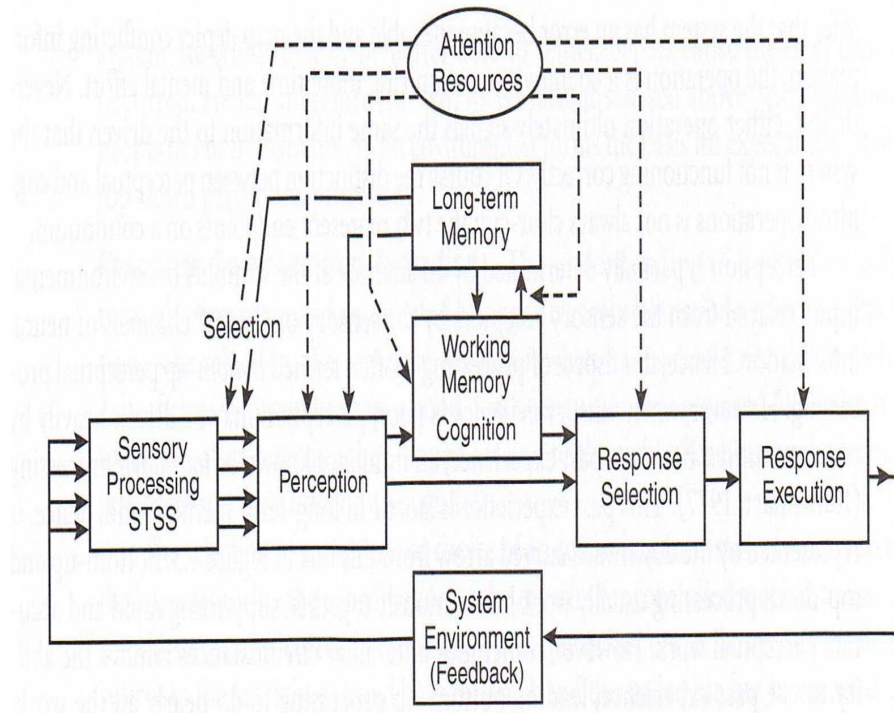


Figura 6 Modelo cognitivo de los Recursos Múltiples por etapas [Wickens y Hollands 2000]

- **Procesamiento sensorial.** Tanto la información como los eventos del entorno que rodean al usuario deben alcanzar su cerebro. Así, al usuario de un SNA debe ver el parpadeo de una información o escuchar un aviso auditivo antes de que pueda tomar ninguna acción para que el sistema vuelva a su estado de operación normal. Tanto los receptores visuales como auditivos tienen un gran impacto en la calidad de la información que llegue al cerebro. En esta tesis no se cubren ni las propiedades ni el funcionamiento de estos órganos sensoriales. Todos los sistemas sensoriales llevan asociada un *almacén sensorial de corto plazo* (*short-term sensory store, STSS*) localizado en el cerebro. Este mecanismo temporal para prolongar la representación de los estímulos sensoriales sin procesar tiene una duración de medio segundo para el mecanismo STSS visual y entre 2 y 4 segundos para el mecanismo STSS auditivo. Estos tiempos son la base del algoritmo del principio de inhibición asociado al parámetro 4 descrito en el capítulo 4.3.4.
- **Percepción.** El procesamiento sensorial es necesario, pero no es suficiente para un rendimiento humano efectivo. Los datos sensoriales, sin tratar, se retransmiten al cerebro donde se deben interpretar y dotar de significado a través de la etapa de *percepción*. Así, el piloto que oye una campana repetitivamente no es solamente un sonido molesto sino un mensaje de aviso. El procesamiento asociado a la percepción tiene dos características importantes: primero, es un proceso automático y rápido que precisa poca atención del usuario, y segundo, en él intervienen tanto las entradas sensoriales y las entradas de la memoria de largo plazo para los eventos esperados.

La percepción se diferencia del proceso cognitivo por la velocidad y la automatización relativa. Así, la lectura del mensaje asociado a una notificación es un proceso de percepción, en tanto que inferir que el sistema tiene un error debido a un motivo determinado es un proceso de cognición que precisa más tiempo y recursos. La distinción entre ambos procesos no siempre es clara puesto que pueden verse como dos puntos contiguos, lo mismo que sucede con los procesos de *comprensión* y *reacción* asociados a un sistema de notificación. La percepción está parcialmente determinada por un análisis de los estímulos procedentes del entorno, en un procesamiento *bottom-up*. Sin embargo, cuando la percepción sensorial es pobre, la percepción puede estar determinada por las expectativas basadas en experiencias pasadas en un procesamiento *top-down*. Estas experiencias están almacenadas en la memoria de largo plazo y están representadas en la Figura 6. Ambos tipos de procesamiento, *bottom-up* y *top-down*, funcionan conjuntamente de forma armoniosa, contribuyendo a una percepción rápida y precisa.

Algunas veces la percepción implica un proceso de categorización como sucede cuando el piloto asocia una campana repetitiva a un mensaje de error.

La percepción también puede suponer extraer información continuamente acerca de los movimientos propios o de otros objetos del entorno.

- **Cognición y Memoria.** Ya se indicó anteriormente que los límites entre *percepción* y *cognición* están desdibujados. Una distinción fundamental es que los procesos cognitivos necesitan más tiempo, esfuerzo mental y atención, puesto que precisan de la *memoria de trabajo*, un almacenamiento temporal y vulnerable de la información activada. En un SNA, la memoria de trabajo se activa cuando, por ejemplo, monitoriza los datos proporcionados y comprueban que están en el rango adecuado o cuando realiza el diagnóstico de un fallo del sistema. La propiedad fundamental de estas operaciones es que son actividades conscientes que transforman y/o retienen información, y que son *recursos limitados*. Es decir, son altamente vulnerables a las interrupciones cuando la atención se desvía a otros recursos mentales. El parámetro 1 relacionado con el total de información que debe estar contenido en una notificación, y el parámetro 4, en su vertiente de asignación de

prioridades a las notificaciones para evitar interrupciones deseadas, están muy relacionados con estos procesos.

Algunas veces el material asignado a la memoria de trabajo también puede tener acceso a un sistema menos vulnerable y con información permanente: la *memoria de largo plazo*, tal y como sucede tras un período de entrenamiento o aprendizaje.

- **Selección de la Respuesta y Ejecución.** El entendimiento de una situación, conseguido a través de la percepción y aumentado por transformaciones cognitivas suele producir una acción: la selección de una respuesta. Algunas veces, tomar una decisión supone un proceso cognitivo (elegir una ruta entre todas las proporcionadas por el sistema de ayuda a la navegación) y otras veces no supone ningún proceso cognitivo (como sucede al tirar de la palanca de gases al oír el mensaje: “*Terrain. Pull-up*”). El objetivo del entrenamiento en el uso de un SNA es conseguir que el proceso de selección de respuesta se reduzca al mínimo y no consuman recursos de los usuarios.

La selección de una respuesta o de una lección es distinta de su *ejecución*, lo que precisa de la coordinación de los músculos en un movimiento controlado para asegurar que se consiguen los objetivos convenientemente. Así, la acción de tirar de la palanca debe hacerse controladamente hasta conseguir estabilizar el avión.

- **Realimentación.** El lazo de realimentación en la Figura 6 indica que las acciones percibidas directamente por los usuarios o, si las acciones influyen en el comportamiento del sistema con el que interactúa el usuario, serán observadas tarde o temprano. La existencia de este lazo de realimentación implica que,
 1. El flujo de información puede empezarse en cualquier etapa. Así el usuario, en su interacción con un SNA, puede decidir monitorizar el empuje de los motores por iniciativa propia o por el sonido procedente de los motores.
 2. El flujo de información es continuo, como muestra de que la “percepción produce una acción”, y que, en un SNA, a la interrupción (percepción) debe seguirle la reacción (acción).

Un factor crítico en la interacción con este lazo cerrado es el *retardo* del sistema al responder a una acción humana, íntimamente relacionado con la *heurística de realimentación* continua al usuario. Algunas veces este retraso debe ser muy corto como sucede con la respuesta del motor al demandarle más potencia o pueden tener retardos más largos como puede suceder para comprobar si el tren de aterrizaje ha bajado y está anclado.

- **Atención.** Una propiedad fundamental del modelo es el suministro de recursos mentales a la **atención**, el recurso máspreciado. Muchas operaciones mentales no se realizan automáticamente, sino que precisan de la aplicación selectiva de estos recursos mentales. En la Figura 6, se puede apreciar que la atención, de modo selectivo, asigna recursos a la información procedente de los sentidos (*atención selectiva*). Al igual que el procesamiento *top-down* de la percepción también puede estar basada en experiencias pasadas, sabiendo que buscar o que oír, aunque esta experiencia también puede ser el origen de errores. Así, por ejemplo, un piloto acostumbrado a la interacción con un determinado SNA ‘sabe’ cuál debe ser el período de muestreo para la tarea de monitorización de la temperatura del motor, aunque un día caluroso puede hacer que una notificación por sobre temperatura sorprenda al piloto. Cuando el usuario tiene que realizar múltiples tareas, tal y como sucede en un avión, el usuario debe seleccionar una estrategia para *dividir* su atención y asignar los recursos entre las distintas tareas u operaciones mentales. Cuando la atención total demandada por estas tareas es excesiva, alguna tarea no se ejecutará correctamente, y dará lugar a una situación de sobrecarga, tal y como

se detalla al describir el parámetro 2 correspondiente a la multitarea en el capítulo 4.3.2.

Este documento se ha inspirado en la teoría EPIC y, sobre todo, en la teoría de Wickens y Hollands para soportar la caracterización de los Sistemas de Notificación en sistemas críticos a través de los parámetros elegidos en el capítulo 4.3. La decisión para la elección de estos parámetros como sistema de generadores mínimo de cualquier parámetro que permita caracterizar los Sistemas de Notificación de un sistema crítico se basa en la utilidad del modelo de recursos compartidos por etapas para demostrar de forma gráfica que las trayectorias de los parámetros críticos seleccionados son linealmente independiente entre sí y que, por tanto, no se puede suprimir ninguno de estos parámetros en la evaluación del sistema de notificación de un sistema crítico.

2.6. Evaluación predictiva (Parámetros críticos)

En esta sección se introducen los parámetros críticos como las variables **independientes** que caracterizan de forma unívoca la interfaz correspondiente al sistema de notificación de un sistema crítico y permitir así la evaluación **predictiva, objetiva, reproducible y extensible** de la interfaz del sistema de notificación de un sistema. Los parámetros críticos, como magnitudes cuantificables, son la base de la evaluación predictiva que permite identificar problemas en las interfaces de Sistemas de Notificación de sistemas críticos, antes de construirlas.

Las medidas de prestaciones no pueden realizarse si no existen **requisitos** específicos previos al diseño. Es notable la ausencia de este tipo de requisitos en el ciclo de diseño de una interfaz de usuario. La situación ideal tendría lugar cuando se especificasen el comportamiento y la apariencia de la interfaz como un todo y la especificación cubra los datos y operaciones que puede realizar el usuario, y la organización lógica de la información proporcionada por la interfaz. Además de existir estos requisitos dedicados a la interfaz de usuario, su especificación se realiza empleando lenguajes formales como Object Z [Duke et al. 1994] que proporcionan un mecanismo de comunicación precisa entre objetos [Aslett 1991]. Sin embargo, el formalismo de los requisitos no garantiza que el diseño sea estéticamente agradable o que se cumplan las guías establecidas [Dix 1991].

Según [Newman 1997] en ausencia de requisitos de prestaciones debe establecerse un conjunto de parámetros críticos que permitan definir las unidades de medida. Son **críticos** porque el éxito o fracaso de un diseño depende de forma crítica de del cumplimiento de los objetivos fijados.

Los parámetros críticos de cualquier sistema reúnen tres características esenciales [Newman et al. 2000]:

- su satisfacción es **crítica** para el éxito del sistema,
- son dependientes de la aplicación, pero son **invariantes** para una serie particular de problemas de diseño, y
- deben ser **manipulables** por los diseñadores.

Además, los parámetros críticos permiten [Cheward et al. 2004] formalizar un **espacio de diseño** que permita el re-uso del conocimiento, expresar los problema con un **lenguaje consistente** y permitir el juicio de los expertos a través de una “evaluación mediada” (*mediated evaluation* [Caroll et al. 1992]). Basándose en estos parámetros se podrá realizar una evaluación sistemática [Cheward et al 2004]. Estos autores, [Cheward et al. 2004] proponen una evaluación aplicando la técnica de recorrido detallado, que permitirá:

- (1) focalizar el diseño en unos objetivos cuantificables, y que estos objetivos no dependan ni del evaluador ni del usuario, y

- (2) una mejora continua y agregativa de los distintos diseños aplicables a un determinado problema.

El marco de evaluación desarrollado en este documento se basa en la definición de un conjunto de parámetros críticos que sirvan de forma genérica para cualquier sistema de notificación aplicable a un sistema crítico. Estos parámetros responderán a un término abstracto que permita la generalización y se plasmarán en términos concretos que permitan obtener medidas manejables de los efectos psicológicos observados en la interacción interfaz-usuario. Cada parámetro crítico se basa en teorías cognitivas, principalmente ICS y los Recursos Múltiples de Wickens y Hollands [Wickens y Hollands 2000].

Los parámetros críticos determinantes en las interfaces en las que se centra esta tesis se enumeran se detallan en el capítulo 4.

2.7. Paradigmas de diseño vs. requisitos

En esta sección se detallan los principales paradigmas seguidos en el diseño de interfaces de Sistemas de Notificación en aviónica (SNA). Estos paradigmas se convierten en requisitos *de facto* basados algunos en la praxis (véase sección 2.7.1), otros en criterios de accesibilidad en la instalación de los distintos componentes de una interfaz (véase sección 2.7.2) y otros totalmente ajenos a los factores humanos entre los que se encuentran factores de seguridad de datos y el re-uso de interfaces previas. La mayor parte de estos paradigmas no tienen una explicación adecuada, pero están contrastados por la experiencia, al igual que sucedía en los albores del desarrollo de la física y la química: se conocía el fenómeno, pero no se disponía de una teoría convincente.

2.7.1. Paradigmas de IHC en Sistemas de Seguridad Crítica

Entre los factores puramente **no-funcionales** relacionados con la interacción hombre-máquina se encuentran los requisitos de aprovechamiento de las experiencias anteriores (re-uso de diseños). A continuación se enumeran los principales paradigmas de amplia aceptación en el diseño de cabinas de aviones y que constituyen el punto de partida de cualquier diseño:

- Al igual que la Ingeniería de Software, un diseño nuevo de una cabina de avión siempre se basa en diseños anteriores. Como diseño inicial se emplean las soluciones que han demostrado su efectividad durante décadas. Estos diseños han sido probados durante millones de horas de vuelo por multitud de usuarios y en las más variadas situaciones. No siempre es la mejor solución ni la solución óptima, pero se sabe con certeza que es un diseño que “funciona”.
- Debe diseñarse una interfaz teniendo en mente el máximo reaprovechamiento de las maquetas y prototipos realizadas en las etapas de diseño. La situación ideal sería un reaprovechamiento del 100%, lo que exigiría que todos los elementos empleados en una cabina siguieran un estándar universal de interfaces de amplia difusión comercial. Hasta el momento actual no existen estándares de IHC para el sector aeronáutico, aunque su necesidad es evidente. No obstante existen grupos de trabajo para esta estandarización (por ejemplo, los grupos GAIN estándar 8XXX del comité ARINC [AEEC NIC 2005] o iniciativas comerciales como el Lenguaje de Control de Cabinas de Honeywell)
- Los pies del usuario también intervienen en la interfaz. Toda interfaz de control de vuelo de una cabina de avión debe incluir pedales para los pies con dos funcionalidades, de frenado (similar a los automóviles) y de control de la dirección del timón trasero.
- Los controles usados con la mano derecha no proporcionan al piloto una realimentación adecuada. Este paradigma aún no tiene (o no está publicada) justificación teórica aceptable.

- La automatización simplifica la tarea de volar.
- El control de aviones de forma electrónica (“*Fly-by-wire*”) reduce la carga de trabajo de los pilotos, de modo que puedan centrarse más en las labores típicas de planificaciones de vuelo o en una misión militar, pero pueden producirse pérdidas de prestaciones e inducir en los usuario la sensación de no tener control sobre el sistema.
- Una interfaz debe incluir pantallas multifunción [*Multi Function Display*, MFDs] con teclados en la parte superior de cada pantalla proporcionan a los usuarios el acceso a las funciones primarias de vuelo. Pulsando un solo botón se accede directamente a estas páginas. Es muy importante determinar qué tipo de información se considera primaria y esencial en el control del avión.
- Todas las teclas primarias están al nivel de los ojos, lo que minimiza buscar entre menús y los movimientos de cabeza.
- Cada pantalla debe ser compatible con cualquier tipo de condición meteorológica y con el uso de gafas de visión nocturna.
- Cada pantalla posee internamente capacidad de procesamiento de datos y generación de símbolos gráficos.
- Los pilotos prefieren interfaces tradicionales: analógicas (aunque sean simuladas digitalmente) en forma de relojes para mostrar la altitud, velocidades, temperaturas, etc. y barras verticales para las medidas de presión y temperatura, velocidad de los gases de escape...Las barras se disponen en una página de forma que cuando todas las medida arrojen valores normales de funcionamientos, todas tendrán la misma apariencia en altura.
- Uno de los objetivos principales es el aprovechamiento del espacio y mostrar tanta información como sea posible en una sola pantalla para disminuir la búsqueda entre paneles y disminuir así los movimientos de los pilotos. Sin embargo, este paradigma está en contradicción con los autores que afirman que una gran densidad de información produce sobrecarga en los pilotos o simplemente no puede ser procesada por un ser humano [Siegel y Siegel 1972; Luce 1994; Shiffrin y Nosofsky 1994].
- En vez de emplear pantallas exclusivas para la notificación (alertas y avisos) aparecen mensajes en una parte dedicada de la pantalla, aliviando de esta forma la necesidad de visualizar varias pantallas en el mismo instante de tiempo. Los mensajes están codificados con colores, emplean multimedia y se prima el uso de mensajes de voz femeninas.
- Se emplean pantalla con mapas móviles que muestran en cada instante una porción del mapa que depende de la posición actual de los usuarios (*context aware*).
- Un interruptor no es solo un interruptor, sino que representa una decisión importante de diseño. El fin último de un interruptor debe ser guiar al dedo a la acción adecuada y evitar acciones indeseables.
- Los botones deben ser lo suficientemente grandes para que un piloto militar, con guantes, pueda pulsar un botón y sólo ese botón. Pero tampoco pueden ser muy grandes porque el espacio y el peso son en un avión lo que la atención del usuario en una interfaz: el bien más preciado.
- Un botón que controle muchas funciones o permita el acceso a múltiples páginas en una pantalla requerirá ser pulsado en múltiples ocasiones y por tanto, una sobrecarga en los procesos cognitivos de los pilotos.
- Todos los controles deben diseñarse para ambidiestros.

También existen numerosos puntos abiertos sin amplia aceptación, cuya solución no es el objetivo de este documento y que pueden constituir trabajos de investigación futuros:

1. La interfaz con el usuario debe ser una interfaz “real-time”, lo que conlleva dar respuesta a interrogantes como:
 - ¿Qué patrones o elementos de IHC son más aptos para entornos de seguridad crítica y situaciones de emergencia?
 - ¿Es posible reflejar en 2D un IHC de 3D como es la cabina de un avión? Por ejemplo, la palanca de gases que comanda el nivel de potencia de los motores es básicamente un potenciómetro de muy alta resolución –señal sinusoidal de tipo resolver- con varias posiciones predeterminadas (detentores) correspondientes a la máxima potencia, despegue, ralentí en vuelo, ralentí en tierra y máxima potencia en reversa. ¿Puede ser implementada la palanca de gases con un *Joystick* comercial o con ratones en 3D?

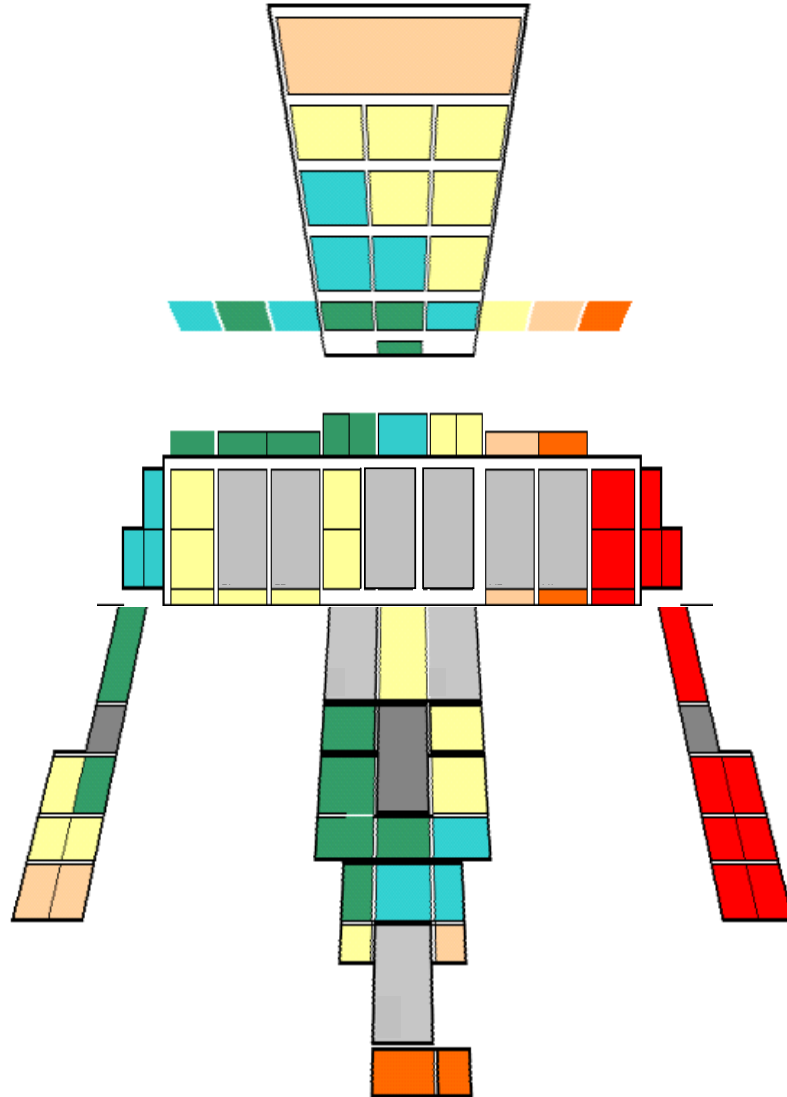
2.7.2. Factores de seguridad e instalación

La seguridad de los usuarios y del sistema, en tanto que principio de usabilidad, también se convierte en uno de los objetivos a alcanzar.

- Los estándares de seguridad (entendida como funcionamiento seguro del sistema sin ocasionar perjuicios en los usuarios –‘safety’- y protección de datos –‘security’-) se consideran mucho más importantes que los estándares de IHC. Esto significa que, por ejemplo, en un mismo avión, dependiendo de su criticidad, coexisten equipos controlados por teclas en la línea de la vista, minimizando, la necesidad de mover la cabeza hacia abajo, y otros equipos sin teclas (controlados por un panel táctil) que exigen más atención por parte del piloto. La elección de un tipo de interfaz u otro depende de la criticidad de la función.
- En otros casos, por ejemplo, rediseñar una cabina implica substituir equipos diseñados específicamente para un lugar concreto (por ejemplo el pedestal del avión) por otros equipos con distinta funcionalidad que ocupan el mismo lugar. Así los equipos substituidos se colocan en lugares secundarios (por ejemplo en los paneles situados encima de la cabeza de los pilotos), incrementando la carga de trabajo y favoreciendo los errores en operaciones de emergencia.
- El entorno que rodea al usuario y que hace que la interfaz deba adaptarse a las condiciones especiales en las que debe funcionar la interfaz (en un avión, por ejemplo, con malas condiciones de visibilidad debido a causas meteorológicas, uso durante la noche, etc.). Es bastante frecuente que los usuarios de sistemas críticos tengan que trabajar con guantes especiales (NBC, *anti Nuclear Biologic and Chemist*)
- Los elementos visuales más importantes deben situarse en una región de 20° alrededor de la línea de visión de los usuarios de modo que sean accesibles únicamente con un movimiento de los ojos.
- Los distintos elementos que conformen la interfaz de un sistema críticos (pantallas, *joysticks*, dispositivos apuntadores, altavoces...) no deben dificultar la evacuación de los usuarios en situaciones de emergencia.

La instalación física de los distintos componentes de la interfaz también constituye un requisito no-funcional muy importante. Estos elementos no precisarán de acceso táctil (pantallas táctiles, teclados o sistemas apuntadores). Dependiendo de la importancia de los componentes que precisen contacto táctil su lugar de instalación también variará precisando de un grado de movimiento distinto.

La Figura 7 muestra la situación asignada en una cabina de avión desde la posición del usuario principal (el piloto) a la interfaz de los equipos de seguridad crítica dependiendo de su nivel de criticidad, del movimiento necesario para el acceso, del canal de acceso a la interfaz (vista, oído y tacto) y de su frecuencia de uso.



CALIFICACIÓN DE SUPERFICIES EN UNA CABINA DE AVIÓN MODERNA DESDE LA POSICIÓN DEL PILOTO:

- T1:** No es necesario ningún movimiento del cuerpo. La tarea no requiere ver la interfaz para un manejo correcto.
- T2:** No es necesario ningún movimiento del cuerpo. La tarea requiere ver la interfaz para un manejo correcto.
- T3-1:** Es necesario un movimiento del cuerpo dentro de límites confortables.
- T3-2:** En necesario un movimiento incómodo del cuerpo sin mover el asiento.
- T3-3:** Es necesario un movimiento del asiento.
- T3-4:** Es necesario levantarse del asiento

Las zonas marcadas en gris no incluyen acceso táctil.

Figura 7 Accesibilidad en una cabina de avión típica de la familia Airbus

©

Vista		
	Definición	Observaciones ¹¹
Instintivo (inmediato)	V1-1. Movimiento primario de cabeza abajo: sólo es necesario un movimiento de los ojos	Sistema crítico: Interfaz de Control de Vuelo (datos Primarios de Vuelo, incluido el motor). Sistema de notificación: páginas de avisos de motor y luces de avisos acompañado de sonidos y mensajes de voz
	V1-2. Movimiento primario de cabeza arriba: sólo es necesario un movimiento de los ojos	Sistema crítico: <i>Head-Up Displays</i> (HUD) en aviones militares. Sistema de notificación: avisos visuales en el HUD.
Adyacente	V2-1 Movimiento primario de cabeza abajo: Superficie inmediatamente adyacente al nivel instintivo. No es necesario un movimiento de cabeza, pero puede precisar un movimiento suave.	Sistema crítico: Interfaces secundarias Sistema de notificación: monitorización de parámetros secundarios.
	V2-2 Movimiento primario de cabeza arriba: Superficie inmediatamente adyacente al nivel instintivo. No es necesario un movimiento de cabeza, pero puede precisar un movimiento suave.	Sistema crítico: Interfaces de comunicaciones Sistema de notificación: mensajes almacenados en memoria de largo alcance
Acción coordinada	V3-1 Es necesario un movimiento de cabeza	Sistema crítico: Interfaz de motor (Pantallas de parámetros primarios y parámetros secundarios de motor). Sistema de notificación: mensajes que precisan de la memoria de trabajo de corto y largo alcance
	V3-2 Es necesario coordinar los movimientos del cuerpo y de la cabeza	Sistema crítico: Interfaces situados por encima de la cabeza. Sistema de notificación: No precisa de la memoria de trabajo.
	V3-3 El usuario tiene que levantarse del asiento	Sistema crítico: Operaciones que no se realizan en vuelo. Operaciones de mantenimiento en tierra. Sistema de notificación: compartido con varios sistemas. No precisa de la memoria de trabajo.

Tabla 3 Clasificación de accesibilidad visual

Auditiva		
	Definición	Observaciones ¹²
Instintivo (inmediato)	A1 Sonido auto explicativo. No es posible un malentendido	Sistema crítico: Piloto automático. Sistema de notificación: mensajes híbridos de voz y sonidos (típicamente 'cavalry charge')

¹¹ Es una propuesta del autor de este documento. La configuración actual de estas interfaces no siempre coincide o no existen con la configuración de esta propuesta.

¹² Es una propuesta del autor de este documento. La configuración actual de estas interfaces no siempre coincide o no existen con la configuración de esta propuesta.

Adyacente	A2 Es necesario tener un único acceso a información complementaria para entender el sonido.	Sistema crítico: Interfaz de motor. Sistema de notificación: Sonido continuo y repetitivo que requiere de la información de la pantalla de avisos.
Acción coordinada	A3 Es necesario tener un acceso a información complementaria para entender el sonido, pero esta información está distribuida en varias interfaces	Sistema crítico: Pantallas de parámetros primarios de vuelo. Sistema de notificación: mensajes de voz que precisan de la memoria de trabajo de corto y largo alcance al tener que acceder a varias interfaces con datos de vuelo.

Tabla 4 Clasificación de accesibilidad auditiva

Tacto		
	Definición	Observaciones ¹³
Instintivo (inmediato)	T1 No es necesario ningún movimiento del cuerpo. La tarea no requiere ver la interfaz.	Sistema crítico: Control de superficies aerodinámicas del avión (<i>Joystick</i> y palancas de alerones). Sistema de notificación: Vibración en los controles si se excede del rango de operación segura.
Adyacente	T2 No es necesario ningún movimiento del cuerpo. La tarea requiere ver la interfaz para un manejo correcto.	Sistema crítico: Conexión del piloto automático y reversa. Sistema de notificación: bloqueos mecánicos que impiden accionar el control.
Acción coordinada	T3-1 Es necesario un movimiento del cuerpo dentro de límites confortables	Confortable: Estiramiento de corta duración Manejo prolongado de una interfaz sin agarrotamiento ni rigidez
	T3-2 En necesario un movimiento incómodo del cuerpo.	
	T3-3 Es necesario un movimiento del asiento.	No deberían aplicarse a sistemas críticos.
	T3-4 Es necesario levantarse del asiento	

Tabla 5 Clasificación de accesibilidad táctil

¹³ Es una propuesta del autor de este documento. La configuración actual de estas interfaces no siempre coincide o no existen con la configuración de esta propuesta.

Capítulo 3

3. Planteamiento y Determinación del problema

En esta sección se describe el problema objeto de estudio de esta tesis doctoral y los requisitos de alto nivel que debe cumplir la solución propuesta para resolver el problema.

Es bien sabido que los procesos de especificación y evaluación del SW se consideran procesos que añaden **poco valor** al producto, y a menudo se **limitan** en tiempo y dedicación. De forma concreta, los diseñadores de sistemas suelen omitir la especificación detallada de requisitos dedicados a las interfaces de usuario, aunque éstos juzguen un sistema de forma global por su interfaz, sin valorar otros aspectos del sistema como la fiabilidad, robustez, precisión, etc.

Ante la ausencia de requisitos específicos de las interfaces de usuario en el campo de la aviónica, y concretamente de las interfaces de los Sistemas de Notificación en Aviónica (SNA), la evaluación se ha basado tradicionalmente en:

(1) datos empíricos proporcionados de forma subjetiva por un grupo limitado de usuarios que impide aplicar técnicas estadísticas, y

(2) el cumplimiento de unas guías probadas con su uso.

En aviónica, estas guías, ya mencionadas en la sección 1.1, aunque están ampliamente aceptadas, son cuestionables desde el punto de vista de la ciencia cognitiva y resultan **insuficientes** para llevar a cabo una evaluación objetiva, pudiendo ser manifiestamente mejorables. Así, cada grupo de pilotos (generalmente los pertenecientes a cada país) se adhiere a unas guías impuestas o a las que más se ajustan a sus preferencias sin realizar evaluaciones objetivas. Estas guías siguen criterios distintos, y en ocasiones, contrapuestos: así, por ejemplo, la norma [ARINC 661-2 2003] favorece el uso de gráficos y pantallas, en tanto que la norma [ARP 1996] impone el uso de controles dedicados (botones pulsables, botones rotatorios...).

Por otra parte, la evaluación informal, heurística, de este tipo de interfaces, fundamentada la mayor parte de las veces en principios no objetivos y no cuantificables, hace que la evaluación sea vista como un proceso impreciso, dependiente del juicio y experiencia de los evaluadores, y carente de valor para el proceso de diseño. La **indeterminación** de los resultados de este tipo de evaluación comienza por la ausencia de una definición formal de los componentes de la interfaz y de las principales características de estos componentes. La **formalización** de estos componentes permitiría una definición clara y precisa de la interfaz a evaluar. A esta definición formal sería necesario aplicarle algoritmos basados en la teoría cognitiva y en los principales modelos cognitivos de los usuarios. De esta forma podría conseguirse la **cuantificación objetiva** de los resultados de la evaluación, y hacerse **reproducible**, independientemente de los evaluadores y los usuarios empleados en la evaluación empírica.

La evaluación empírica de las interfaces de Sistemas de Notificación en Aviónica es muy costosa y requiere previamente que, o bien el producto, o bien un prototipo de alto

nivel¹⁴ estén disponible, de forma que la subsanación de los problemas o la incorporación de mejoras encontradas durante el proceso de evaluación son, a menudo, inviables en términos de tiempo y dinero, haciendo también impracticable la **evaluación sistemática de diseños alternativos** que permitan introducir mejoras en los diseños preliminares. La automatización del proceso de evaluación permite reducir los costes de la evaluación y posibilita la evaluación de diseños alternativos, permitiendo establecer de forma objetiva si un diseño es mejor que otro.

No existe en la actualidad ningún método ni técnica de evaluación que englobe todas las facetas, aspectos y vertientes de la usabilidad que se requieren en la evaluación de usabilidad de las interfaces de los Sistemas de Notificación en Aviónica (heurísticas, estándares, guías de diseño aplicables, gran número de notificaciones con redundancias significativas en canales de transmisión diversos), siendo necesario acudir a varios métodos o técnicas para cubrir un número mínimo aceptable de estos. Entre estas facetas hay que incluir los distintos, y particulares, contextos y **escenarios** en los que se desenvuelve la interacción de los usuarios con el sistema, casi siempre en situaciones límites como sucede en el caso de estudio cuando falla un motor (o varios) que conduce a su apagado. También es necesario incluir otro aspecto clave en este tipo de interacción: la influencia, tanto de las **capacidades y habilidades cognitivas** de los usuarios, como la **experiencia** de los mismos en interfaces y situaciones similares.

La gran variedad de posibles combinaciones de los factores anteriores induce a incluir la **automatización** del método de evaluación propuesto en esta tesis doctoral como una posible solución a la sistematización de la evaluación de usabilidad de este tipo de interfaces. Sin la automatización de un método de evaluación que cubra un gran número de estas facetas es inviable la aplicación de forma efectiva de éste método. Por tanto, el método propuesto debe ser susceptible de automatización a través de la implementación de los algoritmos que permitan cuantificar:

- el cumplimiento de heurísticas, estándares, guías de diseño,
- la influencia de los distintos perfiles de usuario, y
- los contextos y escenarios particulares en los que se desarrolla la interacción.

Además este marco de evaluación propuesto debe ser **sencillo** de aplicar, de utilidad ('utilisable') demostrada para los diseñadores en los ciclos de desarrollo de interfaces comúnmente empleados en aviónica (v.g. el ciclo de desarrollo V&V) y con capacidad de ser reutilizado en el diseño de otras interfaces análogas. Los resultados proporcionados por la evaluación también podrían servir como **criterios** para decidir si se puede pasar al siguiente proceso del ciclo de vida de la interfaz.

De esta situación surge la necesidad de establecer un marco de trabajo predictivo y automatizado para la evaluación de la interfaz de Sistemas de Notificación en aviónica, caracterizadas formalmente y que proporcione datos cualitativos y cuantitativos objetivos que muestren si el diseño de una interfaz es mejor que otro basado en principios objetivos, independientemente de la experiencia y conocimiento de los evaluadores y de las preferencias subjetivas de un grupo limitado de usuarios.

En resumen, el problema a abordar puede enunciarse como sigue:

Cuando no existen requisitos específicos previos al diseño, como sucede en el caso de las interfaces de los Sistemas de Notificación en Aviónica, el diseño de las

¹⁴ La elaboración de un prototipo puede extenderse durante varios años

interfaces de los usuarios no se hace pensando en las necesidades de los mismos. A su vez, su mejora es muy costosa una vez que el ciclo de diseño del producto ha finalizado o se encuentra en un estado avanzado del diseño, y hace inviable la evaluación de diseños alternativos. Esta ausencia de requisitos específicos y precisos hace indispensable un proceso de evaluación de la interfaz que sea repetible, extensible y que proporcione datos cualitativos y cuantitativos basados en la teoría cognitiva que permita conocer si el diseño de una interfaz es mejor que otro sin necesidad de construirlo ni de recurrir a costosos procesos de evaluación dependientes de los evaluadores y de los usuarios. Sin embargo, y a pesar de su importancia para decidir si una interfaz tiene la madurez suficiente o es necesario mejorar su usabilidad, la evaluación de usabilidad no está implantada como un proceso más en el ciclo de vida de un producto, ya que suele considerarse un proceso difícil de aplicar, costoso en tiempo y recursos, y que no añade ningún valor al producto. No obstante se reconoce que siempre es mejor y más barato, evaluar que solucionar problemas y que es más sencillo incluir modificaciones en las etapas más tempranas del ciclo de vida. En la actualidad, no existe ningún método de evaluación que le permita al diseñador saber de forma objetiva si la interfaz del Sistema de Notificación será usable en el avión. Los métodos de evaluación existentes no cubren todos los aspectos de la usabilidad, haciéndose necesario reunir a varios métodos, cuya aplicación depende del juicio y de la experiencia del evaluador.

Además, son muy pocas las experiencias llevadas a cabo en la línea de la evaluación de las interfaces correspondientes a los Sistemas de Notificación, y, en particular, en el campo de la aviónica, de modo que no existe un cuerpo de datos que pueda ser analizado estadísticamente y que permita conclusiones generalizables y extensibles, por lo que este método de evaluación debe ser un **método formal**, y basado en los modelos de usuarios y en las teorías cognitivas (y en los experimentos asociados).

Capítulo 4

4. La solución propuesta: Un marco de evaluación predictiva para aviónica

Aunque los usuarios de computadores de sobremesa están muy habituados al uso de Sistemas de Notificación típicos como alarmas, avisos de correo y monitores de carga de red y del sistema, la evaluación de estos sistemas se limita a demostrar el valor intrínseco de paradigmas de diseño aislados con una sola implementación. Para sistemas críticos la evaluación de una interfaz se realiza únicamente con usuarios reales una vez que la interfaz está terminada, encareciendo el diseño y dificultando las correcciones y mejoras. En este documento se propone un método de evaluación predictiva de Sistemas de Notificación en aviónica que sea coherente, que se pueda extender y que se pueda replicar como principales valores de una investigación [Gras y Saltzman 1998].

Para [McCrickard et al. 2003a] la aproximación a la evaluación de la usabilidad y del diseño interactivo de los Sistemas de Notificación debe hacerse en varios pasos. Primero, establecer los parámetros críticos que permitan realizar una evaluación completa de acuerdo con los objetivos. Segundo, realizar una evaluación de usabilidad, predictiva en este caso, basada en los modelos cognitivos y, finalmente, mejorar de forma incremental las guías de diseño con una aproximación basada en escenarios.

Estos autores proponen un modelo de diseño basado en la categorización de tres parámetros críticos (**interrupción, reacción y comprensión**). Cada una de las categorías resultantes (ambiente, indicadores, pantallas secundarias, ruido, distracción, alarma, paneles de información y monitores de actividad) es analizada según el modelo de comportamiento humano ICS y se proponen directrices reusables para evaluar sistemas de la misma categoría, basados en experiencias sin usuarios reales capturadas con escalas de Likert y en ambientes de laboratorio. Sin embargo, no proporcionan datos relacionados con escenarios y usuarios reales y, sobre todo, no cubren aspectos relevantes en los sistemas críticos como son la multitarea y la colaboración entre usuarios (pensemos por ejemplo en el reparto de tareas que realiza la tripulación de un avión, compuesta por piloto, copiloto y en ocasiones, un tercer tripulante). Sería preciso también incluir los objetivos de usabilidad como paso previo a los ya definidos e incluir en la evaluación factores externos a la interacción humano-computador (véase la sección 2.7)

Pensar en la interacción con un sistema como una trayectoria gobernada por una serie de limitaciones de los “*interactors*” es diametralmente opuesto a aproximarse a las interfaces con los tradicionales análisis de tareas realizados en IHC. Cada segmento tiene un punto inicial y un punto final, y el punto final de un segmento coincide con el punto inicial del segmento siguiente. La investigación propuesta en este documento está relacionada con la identificación de las limitaciones, en el campo de la aviónica, que hacen que el punto final de un segmento sea uno determinado, y sólo pueda ser ese punto. Conociendo estas limitaciones en términos de los parámetros característicos de una determinada trayectoria (del mismo modo que una determinada trayectoria de una partícula en cinemática posee una serie de parámetros característicos) es posible realizar una evaluación predictiva y proporcionar datos cuantitativos que muestren cuán alejado está el diseño de la interfaz de un SNA de la interfaz ideal.

En la Figura 8 puede verse de forma global la aproximación seguida en esta tesis para el desarrollo de la solución propuesta para el marco de evaluación predictivo.

A continuación se describe el método seguido para llegar al marco de evaluación de un SNA propuesto como solución de forma resumida, para posteriormente, en las secciones subsiguientes de este capítulo presentarlo de forma detallada.

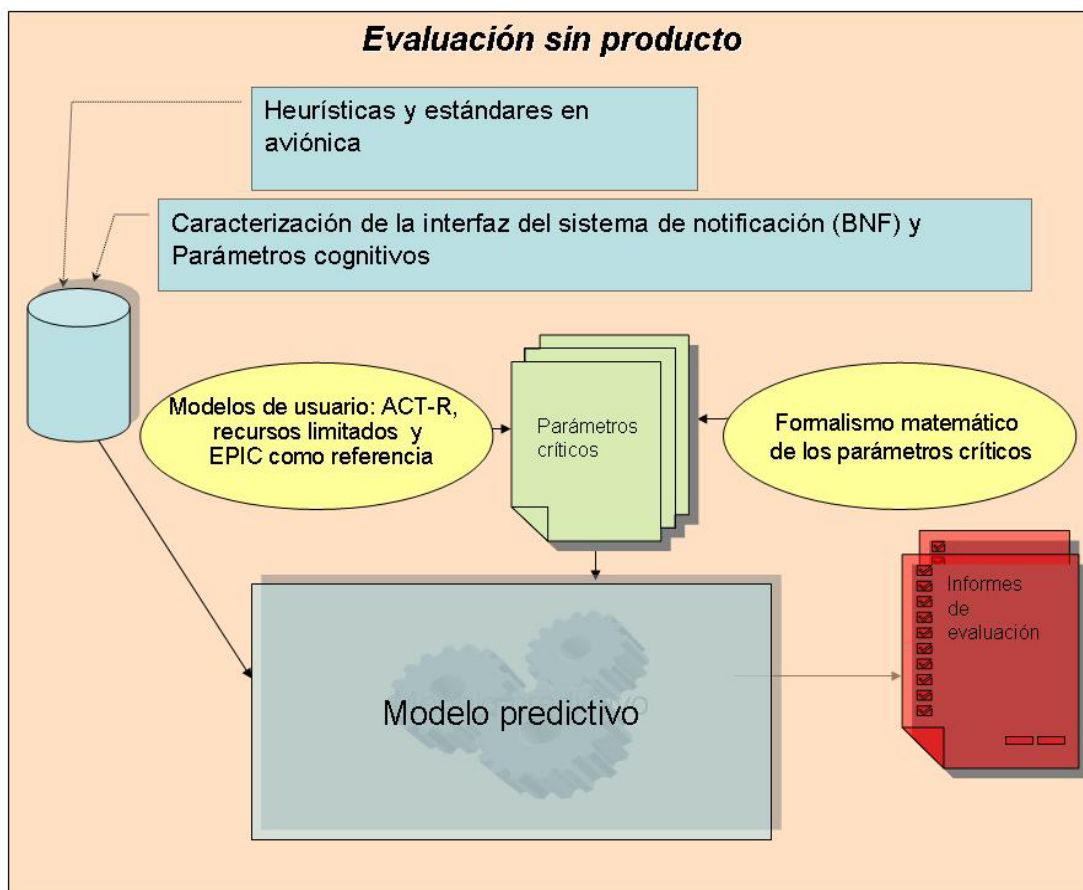


Figura 8 Marco de evaluación predictiva para un SNA basado en heurísticas, estándares, caracterización formal de la interfaz, modelos de usuarios y formalización de parámetros críticos para obtener los informes de la evaluación.

4.1. Visión global de la propuesta

El marco de evaluación predictiva desarrollado en esta tesis se basa en un modelo predictivo establecido a partir de las principales heurísticas, estándares y principios de diseño aplicables a las interfaces en aviónica y de las relaciones matemáticas que siguen los parámetros críticos basado no solamente en un solo modelo cognitivo de usuario sino que ese ha adaptado lo mejor de cada uno de los modelos cognitivos [Turnbull et al. 2003] (EPIC [EPIC 2005], ACT-R [ACT-R06 2005] (en su versión 6), SOAR ([Laird et al. 1987 ; Newell 1990]) y el modelo de Recursos Múltiples [Wickens y Hollands 2000]) . Estas relaciones caracterizan fundamentalmente las limitaciones de la memoria de corto alcance y la capacidad de procesamiento de la información del usuario en cualquier contexto como parte esencial de la interacción con la interfaz de un SNA. De esta forma, pueden obtenerse datos cualitativos y cuantitativos que permitan establecer criterios objetivos de evaluación.

Para que estas heurísticas y estas relaciones matemáticas puedan ser aplicadas de forma sistemática a las interfaces, es preciso describir éstas interfaces de los SNAs formalmente en función de los parámetros cognitivos implicados en la interacción entre el usuario y la interfaz. Como resultado de la evaluación de una interfaz, el marco de evaluación predictivo proporciona un conjunto de informes de los resultados de la evaluación que cubre los aspectos de:

- sobrecarga de los usuarios;
- percepción sensorial;

- cumplimiento de heurísticas y estándares;
- semiótica y análisis del dominio;
- redundancia y dimensiones de la información contenida en las notificaciones, modos de operación;
- interferencia entre tareas;
- asignación dinámica de prioridades a las notificaciones; y
- pérdida y solapamiento entre notificaciones.

En esta sección se ofrece una visión global de los principales componentes del marco de evaluación desarrollado en esta tesis a partir de la secuencia de los principales pasos seguidos:

1. Heurísticas y estándares en aviónica.

Como paso inicial, se establece el conjunto de estándares de aviónica, tanto recomendados [ISO 9241-11 1999, ARINC 661-2 2003, ABD200 2000a] como de obligado cumplimiento [HFDS 2003, FAA HFDG 2005] aplicables a la interfaz de un SNA. Estos estándares están relacionados principalmente con los elementos gráficos que deben usarse, colores de los componentes, combinación de colores de los distintos elementos, tamaño de letra de los componentes de la interfaz, densidad de huecos en una interfaz...

En esta etapa también se establece qué conjunto de principios de diseño de un SNA se debe evaluar en el marco de evaluación predictivo. Los principios incluidos en el marco de evaluación son:

- **Interfaz en la sombra (*Dark interface*):** la atención del usuario es un bien muy valioso y, por tanto, no se comunica al usuario ninguna información hasta que no suceda un evento que la justifique. Para un SNA implica que las notificaciones permanecen desactivadas hasta que se produce un evento importante según el contexto.
- **Principio de información mínima:** el usuario siempre debe disponer de toda la información necesaria que le permite tener un concepto mental correcto del sistema.
- El contenido de todas las notificaciones debe emplear el **lenguaje del dominio** manejado por los usuarios.
- **Principio de inhibición:** un sistema de notificación no debe producir ninguna interrupción no deseada en el usuario al realizar las tareas primarias dependiendo del contexto en el que se produzca la notificación.
- **Notificación partida (*Split notification*):** según este principio, cada usuario posee su propia interfaz redundada, de modo que puede desempeñar sus tareas independientemente, sin necesidad de recurrir a la interfaz de otro usuario.
- **Accesibilidad apropiada a la prioridad de la notificación:** la interfaz debe situarse físicamente en una zona cuya accesibilidad esté acorde con la importancia de la información que proporcione para facilitar la interacción con los usuarios. Así, por ejemplo, las notificaciones de mayor importancia siempre deben estar situadas en la línea de visión focal de los usuarios.

2. Caracterización de la interfaz.

En este paso, se identifican y se definen formalmente los componentes primitivos o más elementales de la interfaz de un sistema de notificación en aviónica (zumbido, luz de aviso, mensaje de texto, mensaje de voz sintética, etc.) para permitir definir un espacio de diseño. La formalización gramatical de los elementos que componen la interfaz se realiza en BNF, y a continuación se implementa, de forma inmediata, la caracterización en XML de todos los componentes de la interfaz del sistema de notificación para permitir una parametrización de las interfaces al modelo predictivo. Esta implementación en XML es conforme al correspondiente DTD y está validada con un esquema XSD según la versión [XML W3C 2004].

Así, por ejemplo, a continuación se muestra un extracto de los componentes identificados (previamente caracterizados en una estructura XML) por el modelo predictivo para la interfaz del SNA de la planta de potencia A400M (véase la Figura 9) constituida por cuatro motores:

```
Componentes de la interfaz :
0. SINÓPTICO
1. INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO
2. VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO
3. ETIQUETA_TQ
4. LECTURA_DIGITAL
5. AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ
...Componentes hijos :
5. 0.DIAL_5_POSICIONES
5. 1.SECTOR_GRIS
5. 2.SECTOR_BLANCO
...
```

Las interfaces de los SNA evaluados en este trabajo (véase por ejemplo la Figura 9 para los detalles en el A400M) consisten fundamentalmente en:

- indicaciones de temperatura (componente EGT),
- indicación del régimen de funcionamiento del motor (CLB),
- momento de fuerza de la hélice (NP) e indicación de la potencia entregada por el motor (TQ) , y
- diales que agrupan información relevante del sistema de control, como la demanda de potencia, el valor proporcionado por el sistema y la tendencia del sistema.

Todos los componentes incluyen etiquetas con información fija relativa a la magnitud física medida y las unidades de la medida. En todos los componentes con valores numéricos, las medidas están redundados con el color: verde cuando la medida se encuentra en rango normal de operación, ámbar para valores que pueden entrañar riesgo y rojo para indicar situaciones no deseadas.

Cuando la información es muy importante, como sucede con el indicador de potencia proporcionada por el motor, la información se basa en un dial analógico dividido en 5 sectores; también se redundo con mensajes textuales (GRND, REV, MAX), con valores numéricos codificados con colores según el valor de la medida, con una aguja analógica cuya posición depende del valor numérico y con una indicación de la tendencia (predicción) de la posición de la aguja. Al dial se le superponen las metáforas de la posición actual de la palanca de gases (representada con un círculo azul en la Figura 9) y la posición máxima admisible que puede alcanzar la posición de la aguja en la interfaz, correspondiéndose con tope mecánico en ámbar.

En este trabajo también se han evaluado las indicaciones específicas de aviso y emergencia: una luz roja parpadeante para emergencia, una luz ámbar fija para avisos y un altavoz en ambos casos. Cuando cualquiera de los componentes numéricos anteriores

alcanza alguna condición anormal, se disparan también estos componentes específicos de avisos y emergencias.

3. Modelo predictivo / Parámetros críticos y modelos cognitivos de usuario.

Teniendo en cuenta los recursos cognitivos contemplados en los modelos de usuarios aplicables a los pilotos en sus interacción con la interfaz de un SNA, especialmente EPIC [EPIC 2005], ACT-R [ACT-R06 2005] (en su versión 6), SOAR ([Laird et al. 1987 ; Newell 1990]) y el modelo de los Recursos Múltiples[Wickens y Holland 200] se seleccionan los parámetros críticos que permiten la evaluación de un sistema de notificación en aviónica: complejidad y sobrecarga de la información, multitarea, comportamientos modales y hábitos, contexto y situaciones degradadas, e interfaz compartida. Estos parámetros son críticos porque el éxito o fracaso de un diseño depende de forma crítica de si se cumplen o no los valores fijados para cada parámetro. Posteriormente, la definición de este conjunto de parámetros críticos se formaliza matemáticamente y se le asigna una función matemática a su relación con la interacción en un SNA, de modo que permitan obtener una serie de informes con resultados cuantitativos como resultado de la evaluación.

Estos parámetros críticos se inspiran en los parámetros críticos sugeridos por [McCrickard et al. 2003b; Brooker, Chewar y Scott MacCrickard, 2004] para cualquier sistema de notificación. Por tanto, pueden considerarse como una especialización de los mismos.

El modelo predictivo se basa en los algoritmos desarrollados en esta tesis para el desempaqueado de los parámetros críticos, previamente modelizados de forma matemática (véase sección 4.3). Estas modelizaciones matemáticas incluyen la selección de las heurísticas, principios y estándares empleados, ya mencionadas en el paso anterior, y los modelos de usuarios, fundamentalmente, el modelo de los recursos múltiples aplicados al comportamiento determinístico de los pilotos.

En la Figura 10 se muestra una visión global de:

- la estructura del modelo predictivo implementado en el marco de evaluación;
- las relaciones de herencia múltiple de los parámetros críticos seleccionados para un SNA; y
- los componentes empleados en la interfaz de un SNA.

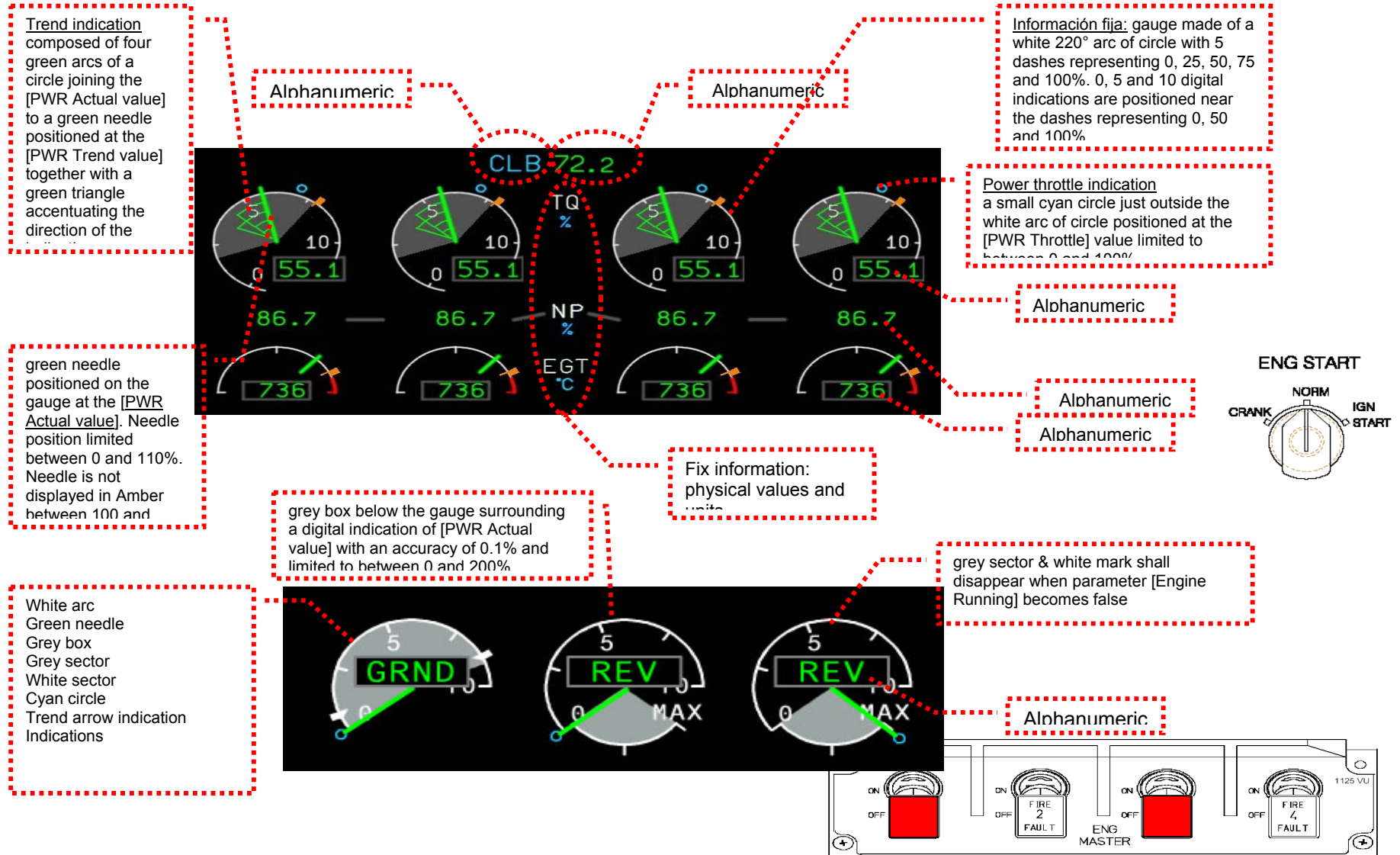


Figura 9 Descripción de los principales componentes de la interfaz de la planta de potencia del A400M

En la Figura 10 también puede verse la relación de dependencia del método¹⁵ de evaluación de un SNA del método respecto a la evaluación de una interfaz en general, a la que sobrecarga; este método también especializa la evaluación de un sistema de notificación genérico; además usa las características de sobrecarga del usuario proporcionados por el modelo de usuario, y el nivel de criticidad de un sistema embarcado.

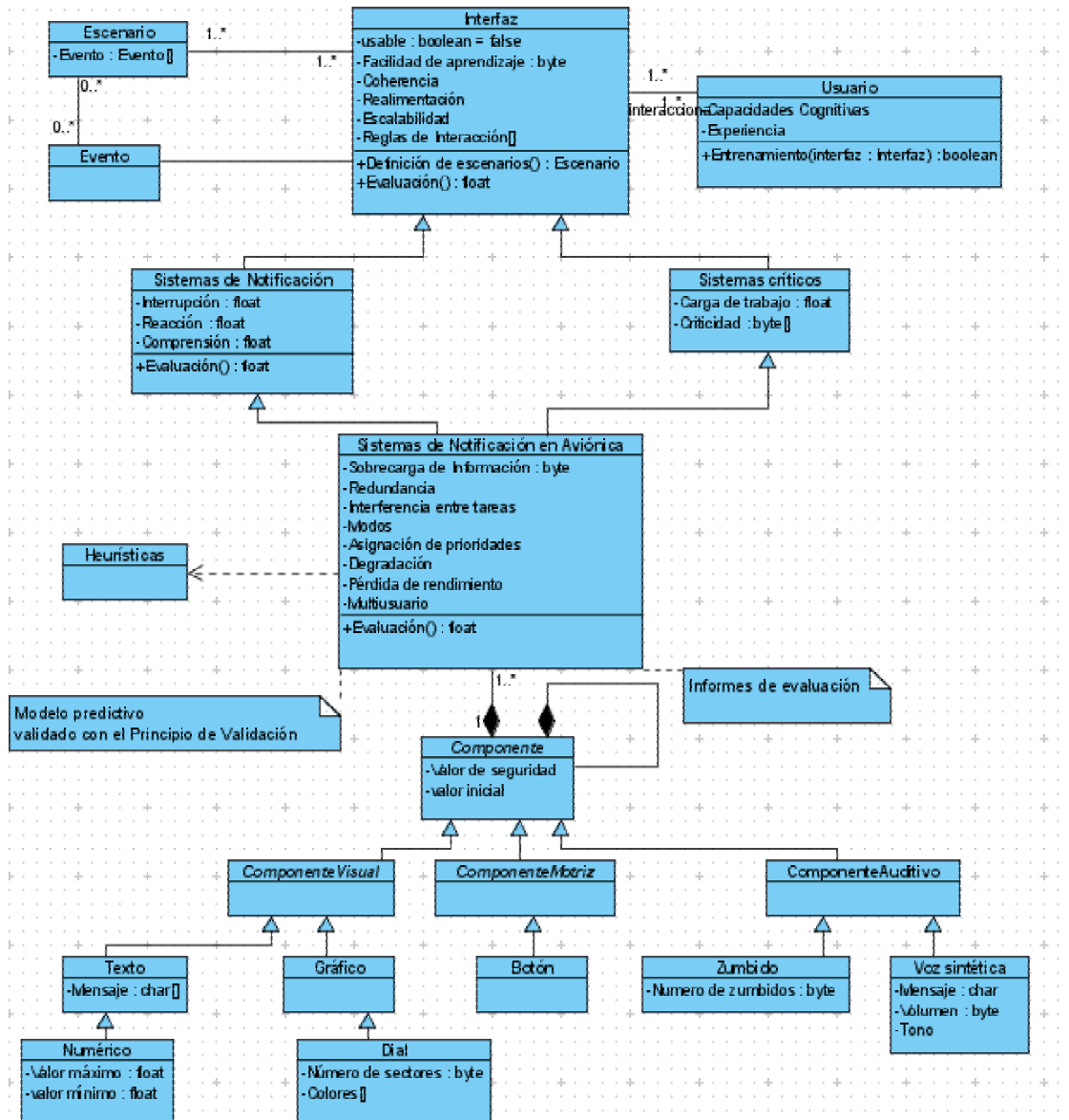


Figura 10 Diagrama de clases simplificado del modelo predictivo de evaluación

¹⁵ En un contexto de Orientación a Objetos.

4. Informes de evaluación.

En este paso, se selecciona el contenido y los tipos de informes que debe proporcionar el marco de evaluación. Los informes proporcionados (véase la Figura 11) por el modelo predictivo abarcan aspectos muy apreciados en la evaluación de un SNA y tan variados como:

- la semántica de los mensajes de notificación,
- los aspectos sensoriales, visuales, auditivos y de accesibilidad de los componentes de la interfaz,
- la sobrecarga que pueden experimentar los distintos perfiles de usuarios (experimentados, habilidades, entrenamiento previo, esfuerzo e interés) al interactuar con la interfaz dependiendo del escenario y el contexto (por ejemplo, aterrizaje en malas condiciones meteorológicas)
- una predicción del tiempo de entrenamiento necesario para automatizar las tareas inherentes a un SNA.



Figura 11 Informes proporcionados por el marco de evaluación

Los informes seleccionados para el marco de evaluación son:

- Identificación de los componentes que conforman la interfaz a evaluar.
- Evaluación de usabilidad basado en la percepción sensorial y en el principio de realimentación al usuario. A continuación se reproduce un extracto de los resultados obtenidos en la evaluación de cada uno de los componentes de la interfaz del A400M:

```
Componente INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO Este componente
alfanumérico incluye 4 colores.Evaluación correcta
Componente INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO BLANCO color de
foreground NO apropiado para la visión focal
Combinación de colores correcta para (background,
foreground), (background, notificación)
Componente INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO incluye
confirmación de acciones. Evaluación correcta
```

- Informe relacionado con el parámetro crítico 1 (Complejidad y Sobrecarga de la información) sobre la información transmitida en cada notificación (en sus vertientes de semiótica y redundancia), la consistencia de las notificaciones y el número de repeticiones de cada mensaje de notificación. A continuación se reproducen varios extractos de los resultados obtenidos en la evaluación de cada uno de los componentes de la interfaz del A400M, relacionados con la semiótica, la relación del contenido en bits de los mensajes con el número de dimensiones de la redundancia, tamaño del tipo de letra y número de notificaciones auditivas distintas:

```
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo: 100.00 %
Componente con demasiada carga de información : 4.00 .
Debe rebajarse en 1.00 bits
Redundancia del componente : 100.00 %
Mensaje : POWER_RATING_VALUE con una carga de información
adecuada
...
Notificación :Mensaje 1'mensaje' Abreviatura incorrecta. No
se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'1' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de
abreviaturas AP2866
'mensaje' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
'1' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
...
Componente AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ el tamaño de letra debe
aumentarse hasta 8
...
Evaluando número de notificaciones auditivas en el
componente MASTER_LIGHT
Número de mensajes de voz. Evaluación correcta
Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta
```

- Informe relacionado con el parámetro crítico 2 (Multitarea) incluyendo la evaluación de sobrecarga en los usuarios según su perfil, en los distintos contextos y escenarios, qué componentes producen la sobrecarga y qué tareas realizadas con la interfaz producen sobrecarga al requerir los mismos recursos de los usuarios en el mismo instante de tiempo (sobrecarga por interferencia). A continuación se reproducen varios extractos de los resultados obtenidos en la evaluación de cada uno de los usuarios y de los componentes de la interfaz del A400M, relacionados

con la sobrecarga mental en los usuarios, tiempo estimado de entrenamiento para cada perfil de usuario, qué contextos producen sobrecarga, y qué tareas producen interferencias de todas las posibles combinaciones de tareas y componentes:

```

Carga de trabajo : 56.90 %
    La Carga de trabajo puede reducirse, como máximo,
    hasta 46,78%.
    Tiempo estimado de entrenamiento para un piloto
    inexperto y no familiarizado con la interfaz 21.80 horas
    ...
    Usuario PILOTO : experto, pero no relacionado con
    esta interfaz
    Carga de trabajo estimada en el contexto BASICO:
    56.90%
    Carga de trabajo estimada en el contexto
    SALVAMENTO_Y_RESCATE: 56.90%
    Carga de trabajo estimada en el contexto
    ATERRIZAJE_EN_COMBATE: 113.80%
    Carga de trabajo estimada en el contexto
    VUELO_EN_FORMACION: 56.90%
    Carga de trabajo estimada en el contexto
    MALAS_CONDICIONES_METEREOLOGICAS: 56.90%
    ...
    Evaluando interferencias en el componente: SINÓPTICO...
    Evaluando interferencias en el componente:
    INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO...
    ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente
    INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO interfiere con la tarea
    MONITORIZACIÓN del componente
    VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO
    ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente
    INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO interfiere con la tarea
    RECONOCIMIENTO del componente
    VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO
  
```

- Informe relacionado con el parámetro crítico 3 (Comportamiento modales y Hábitos) indicando la existencia de modos y pseudo-modos que dificulten la toma de decisiones en situaciones críticas por parte de los usuarios. A continuación se reproducen un extracto de los resultados obtenidos en la evaluación de cada uno de los componentes de la interfaz del A400M, relacionados con la existencia de modos y pseudo-modos que pueden consumir recursos cognitivos por la toma de decisiones:

```

Componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO
Evaluación de modos correcta
  
```

```

Componente ETIQUETA_TQ
Evaluación de modos correcta
  
```

```

Componente LECTURA_DIGITAL incluye modos que deben ser
eliminados
  
```

- El informe relacionado con el parámetro crítico 4 (Contexto y prioridades) proporciona datos sobre la evaluación del 'principio de inhibición' y la posible pérdida de notificaciones debido a la prioridad asociada a cada mensaje. Así mismo se informa de la ausencia de estados de seguridad del SNA, definidos por el diseñador, cuando se produce algún evento no contemplado. A continuación se reproducen unos extractos de los resultados obtenidos en la evaluación de cada uno de los componentes de la interfaz del A400M, relacionados, y dependiendo de la prioridad asociada a cada notificación, con la accesibilidad y localización en la cabina de cada componentes, una simulación en tiempo real con generación aleatoria de

notificaciones de la distribución de mensajes mostrados al usuario, los atributos visuales y auditivos de la notificación:

```
Componente SINÓPTICO Criticidad'E'  
Componente INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO Criticidad'B'  
presenta inconsistencias entre prioridad B y accesibilidad  
...  
Componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO  
Notificación i-ésimo : POWER_RATING_VALUE Notificación  
siguiente : POWER_RATING_VALUE  
Notificaciones enviadas 1  
Interrupciones producidas 1  
Notificaciones pendientes 1  
Componente ETIQUETA_TQ  
Notificación i-ésimo : NONE Notificación siguiente : NONE  
Notificaciones enviadas 1  
Interrupciones producidas 0  
Notificaciones pendientes 0  
Componente LECTURA_DIGITAL  
Notificación i-ésimo : POWER_RATING_VALUE Notificación  
siguiente : POWER_RATING_VALUE  
Notificaciones enviadas 2  
Interrupciones producidas 0  
Notificaciones pendientes 0  
...  
Componente CAUTION_LIGHT Criticidad'B' atributos  
inadecuados. Deben incluir 'Sonido único' y no 'Sonido  
repetitivo'
```

El resto del capítulo incluye una descripción detallada de las características del marco de evaluación y el proceso seguido para su desarrollo. Consta de las siguientes secciones, que tienen relación directa con los pasos de la metodología presentada en el capítulo 1 y en las que se desarrolla con más detalle cada uno de los pasos:

1. Definición del conjunto de reglas y heurísticas aplicables a un SNA.
2. Selección, formalización de todos y cada uno de los parámetros críticos seleccionados para la evaluación predictiva de un SNA.
3. En paralelo con el paso anterior tiene lugar el desarrollo de los algoritmos que constituyen el modelo per se y que permiten la evaluación predictiva.

4.2. Heurísticas aplicables

En esta sección se indican los estándares, guías de diseño, normativas de certificación y principios aplicables, y se detallan las heurísticas consideradas relevantes en la evaluación de un SNA.

Como resultado de este estudio se considera necesario que el marco de evaluación incluya las siguientes normativas y guías de diseño:

- [MIL-PRF-22885 2002; HF-STD-001 2003; ISO 9241-11 1996] como guías de factores humanos;
- Las directivas [ABD200 2000; AEA 2003] para el diseño de sistemas críticos y sus interfaces;
- [AS7788] para la definición de características y medidas ópticas;

- [MIL PRF 22885-F] para las medidas de luminancia;
- [FAA HFDG 2005] como guía de diseño de Factores Humanos en interfaces con computadores;
- [ILARD 2000] para las guías de Iluminación; y
- [AEA 2003; AEEC CEI 2004] como directivas de compatibilidad de cabinas de aviones.

Del mismo modo se considera imprescindible que el marco de evaluación incluya los siguientes principios:

- **Interfaz en la sombra (*Dark interface*)**. Según este principio no se comunica al usuario ninguna información hasta que no suceda el evento que la justifique. Este principio conlleva que, en la interfaz de un SNA, las notificaciones permanecen desactivadas hasta que se produce un evento importante según el contexto.
- **Principio de información mínima**: el usuario siempre debe disponer de toda la información necesaria que le permita tener un concepto mental correcto del sistema. Una vez justificada la notificación, la información proporcionada por el SNA debe ser simple e inteligible, ni tan reducida que resulte críptico, y el usuario se vea obligado a hacer suposiciones, ni tan extensa que obligue al usuario a tener que seleccionar una parte del mensaje [Baecker et al. 2000].
La información asociada a una notificación debe ser simple e inteligible [Thompson 1981] para que los usuarios puedan entender las limitaciones que implica, la validez de las notificaciones y qué acciones correctoras se deben tomar. De este modo, el usuario siempre confiará en la información proporcionada por el sistema de notificación. Además, el contenido de todos los mensajes asociados a las notificaciones debe pertenecer al **lenguaje del dominio**; para aviónica, y por inclusión a la interfaz de un SNA, es aplicable la norma [AP20800 2000].
- **Principio de inhibición**. Un SNA no producirá ninguna interrupción no deseada en el usuario al realizar las tareas primarias [Brooker, Chewar y Scott MacCrickard, 2004]. Para evitar estas interrupciones no deseadas en algunas situaciones crítica, como el aterrizaje, y el despegue, las notificaciones se inhiben automáticamente cuando el beneficio de la información transmitida es inferior al coste de la información que se deja de recibir debido a la notificación.
- **Notificación partida (*Split notification*)**: según este principio, cada usuario posee su propia interfaz de modo que puede desempeñar sus tareas sin necesidad de recurrir a la interfaz de otro usuario.
- **Accesibilidad apropiada a la prioridad de la notificación**: la interfaz debe situarse físicamente en una zona cuya accesibilidad esté acorde con la importancia de la información que proporcione. Las zonas dedicadas a los distintos componentes de un SNA deben distribuirse en la cabina del avión (véase Figura 7) según las Tabla 4, Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8.
La Tabla 6 recoge una clasificación de accesibilidad visual según los tipos de accesibilidad definidos en una cabina (véase Figura 7) y la propuesta de aplicación y mejora en este marco de evaluación. Las siguientes tablas (4 y 5) son equivalentes a la tabla anterior con respecto al canal auditivo y a la accesibilidad táctil respectivamente. También en estas tablas se incluye en la columna de 'Observaciones' una propuesta de mejora y de aplicación.
Estas tablas incluyen valores desempaquetados porque aún no se conocen con exactitud las relaciones de dependencia de usabilidad con las reglas que regulan los movimientos de los usuarios en las interfaces de este tipo.

Vista		
	Definición	Observaciones ¹⁶
Instintivo (inmediato)	V1-1. Movimiento primario de cabeza abajo: sólo es necesario un movimiento de los ojos	Sistema crítico: Interfaz de Control de Vuelo (datos Primarios de Vuelo, incluido el motor). Sistema de notificación: pantallas centrales con la página de avisos de motor y luces de emergencia en la pantalla, acompañado de sonidos y mensajes de voz
	V1-2. Movimiento primario de cabeza arriba: sólo es necesario un movimiento de los ojos	Sistema crítico: Head Up Displays (HUD) en aviones militares. Sistema de notificación: avisos visuales en el HUD.
Adyacente	V2-1 Movimiento primario de cabeza abajo: Superficie inmediatamente adyacente al nivel instintivo. No es necesario un movimiento de cabeza, pero puede precisar un movimiento suave.	Sistema crítico: Head Down Displays para Interfaces secundarias Sistema de notificación: monitorización de parámetros secundarios.
	V2-2 Movimiento primario de cabeza arriba: Superficie inmediatamente adyacente al nivel instintivo. No es necesario un movimiento de cabeza, pero puede precisar un movimiento suave.	Sistema crítico: Interfaces de comunicaciones Sistema de notificación: mensajes almacenados en memoria de largo alcance
Acción coordinada	V3-1 Es necesario un movimiento de cabeza	Sistema crítico: Interfaz de motor (Pantallas parámetros secundarios de motor). Sistema de notificación: mensajes que precisan de la memoria de trabajo de corto y largo alcance
	V3-2 Es necesaria la coordinación de los movimientos del cuerpo y de la cabeza	Sistema crítico: Interfaces situados por encima de la cabeza. Sistema de notificación: No precisa de la memoria de trabajo.
	V3-3 El usuario tiene que levantarse del asiento	Sistema crítico: Operaciones que no se realizan en vuelo. Operaciones de mantenimiento en tierra. Sistema de notificación: compartido con varios sistemas. No precisa de la memoria de trabajo.

Tabla 6 Clasificación de accesibilidad visual según la prioridad de la notificación

¹⁶ Es una propuesta del autor de este documento basado en [Mackworth 1976; Megan y Richardson 1979; Wickens y Hollands 2000]. La configuración actual de estas interfaces no siempre coincide con su disposición en cabina (o no existen) con respecto a la configuración de esta propuesta.

Auditiva		
	Definición	Observaciones ¹⁷
Instintivo (inmediato)	A1 Sonido auto explicativo. No es posible una mala interpretación	Sistema crítico: Piloto automático. Sistema de notificación: mensajes híbridos de voz y sonidos (típicamente 'Chavarrí charle')
Adyacente	A2 Es necesario tener un único acceso a información complementaria para entender el sonido.	Sistema crítico: Interfaz de motor. Sistema de notificación: Sonido continuo y repetitivo que requiere de la información de la pantalla de avisos.
Acción coordinada	A3 Es necesario tener un acceso a información complementaria para entender el sonido, pero esta información está distribuida en varias interfaces	Sistema crítico: Pantallas de parámetros primarios de vuelo. Sistema de notificación: mensajes de voz que precisan de la memoria de trabajo de corto y largo alcance al tener que acceder a varias interfaces con datos de vuelo.
Acción coordinada	T3-1 Es necesario un movimiento del cuerpo dentro de límites confortables	Confortable: Estiramiento de corta duración Manejo prolongado de una interfaz sin agarrotamiento ni rigidez
	T3-2 En necesario un movimiento incómodo del cuerpo.	
	T3-3 Es necesario un movimiento del asiento.	No deberían aplicarse a sistemas críticos.
	T3-4 Es necesario levantarse del asiento	

Tabla 7 Clasificación de accesibilidad auditiva de un componente según la prioridad de la notificación

Tacto		
	Definición	Observaciones ¹⁸
Instintivo (inmediato)	T1 No es necesario ningún movimiento del cuerpo. La tarea no requiere ver la interfaz.	Sistema crítico: Control de la palanca de gases de los motores y Control de superficies aerodinámicas del avión (Joystick y palancas de alerones). Sistema de notificación: Vibración en los controles si se excede del rango de operación segura.
Adyacente	T2 No es necesario ningún movimiento del cuerpo. La tarea requiere ver la interfaz para un manejo correcto.	Sistema crítico: Conexión del piloto automático y reversa. Sistema de notificación: bloqueos mecánicos que impiden accionar el control.

Tabla 8 Clasificación de accesibilidad táctil de un componente según la prioridad de la notificación.

¹⁷ Ver nota 16

¹⁸ Ver nota 16

4.3. Modelo predictivo basado en los parámetros críticos que caracterizan los Sistemas de Notificación en los Sistemas Críticos

Debido a lo limitado de los modelos de IHC los sistemas de evaluación se basan en guías, en la experiencia del evaluador o en reglas del ‘dedo pulgar’ que sólo permiten realizar medidas cualitativas. Estas pseudo métricas se basan siempre en experiencias anteriores, sin demostrar formalmente su capacidad de ‘asociación’ entre la guía establecida y la medida proporcionada de usabilidad, ni su capacidad de repetir los resultados en situaciones similares. En esta sección se describen en primer lugar las **variables independientes** (parámetros críticos) que caracterizan de forma unívoca la interfaz correspondiente al sistema de notificación de un sistema crítico en aviónica, y que permiten la evaluación objetiva, reproducible y extensible de la interfaz del sistema de notificación de un sistema. A continuación se presenta una definición en BNF de la gramática que permite caracterizar formalmente la interfaz de un SNA. Posteriormente se comprobará que los parámetros críticos elegidos forman un sistema de generadores de todos los parámetros de evaluación de una interfaz. Finalmente se aporta una formalización matemática para cada parámetro que permita cuantificarlo y arrojar resultados numéricos al aplicar un método de evaluación.

La evaluación de cualquier interfaz de usuario debe permitir establecer no solamente que un sistema es diferente a otro, sino fundamentalmente que un sistema es mejor que otro. Para ello es necesario proporcionar medidas directas que sirvan para medir la usabilidad de una interfaz y para poder comparar objetivamente una interfaz con otra.

Las medidas de prestaciones no pueden realizarse si no existen **requisitos específicos** previos al diseño. Es notable la ausencia de este tipo de requisitos en el ciclo de diseño de una interfaz. Según Newman [Newman 1997] en ausencia de requisitos de prestaciones deben establecerse un conjunto de parámetros críticos que permitan definir las unidades de medida. Son críticos porque el éxito o fracaso de un diseño depende de forma crítica del cumplimiento de los objetivos fijados.

Los parámetros críticos de cualquier sistema reúnen tres características esenciales [Newman et al. 2000]:

- su satisfacción es crítica para el éxito del sistema,
- son dependientes de la aplicación, pero son invariantes para una serie particular de problemas de diseño, y
- deben ser manipulables por los diseñadores.

Además, los parámetros críticos permiten [Cheward et al. 2004] formalizar un espacio de diseño que permita el re-uso del conocimiento, expresar los problemas con un lenguaje consistente y permitir el juicio de los expertos a través de una “evaluación mediada” (*mediated evaluation*) [Caroll et al. 1992] entre los diseños existentes y probados por la experiencia y los modelos predictivos que hacen uso de esta experiencia.

Basándose en estos parámetros se podrá realizar una evaluación **sistemática** que permitirá, por un lado focalizar el diseño en unos objetivos cuantificables y que no dependen ni del evaluador ni del usuario, y por otro lado, permitir una mejora continua y agregativa de los distintos diseños aplicables a un determinado problema. Para realizar esta evaluación [Cheward et al. 2004] proponen una evaluación aplicando la técnica de **recorrido detallado** llevada a cabo por evaluadores expertos.

El marco de evaluación desarrollado en este documento se basa en la definición de un conjunto de parámetros críticos que sirvan de forma genérica para cualquier sistema de notificación aplicable a un sistema crítico. Estos parámetros responderán a un término abstracto que permita la generalización y se plasmarán en términos concretos que permitan obtener medidas manejables de los efectos psicológicos observados en la interacción interfaz-

usuario. Cada parámetro crítico se basa en las teorías cognitivas, principalmente EPIC [EPIC 2005], ACT-R [ACT-R06 2005] (en su versión 6), ICS [Barnard 1985], SOAR ([Laird et al. 1987] [Newell 1990]) y la teoría de los Recursos Múltiples de Wickens y Hollands [Wickens y Hollands 2000].

Según [McCrickard et al. 2003a] los tres parámetros críticos que describen un sistema de notificación son **interrupción** a las tareas primarias, **reacción** a una notificación específica y **comprensión** con posterioridad de la información recibida. Para un sistema crítico estos parámetros no son suficientes y son necesarios otros que permitan evaluar la sobrecarga en el usuario, la degradación de prestaciones que sufre cualquier ser humano en condiciones de multitarea, en un escenario de emergencia y cuando se producen fallos en el sistema. Así mismo en situaciones de sistemas críticos que exijan la colaboración de más de un usuario, existirá un conjunto de parámetros críticos para cada uno de ellos.

El parámetro crítico que permite establecer medidas cuantitativas de la interfaz de un sistema de notificación propuesto en esta tesis es el **coste de la notificación** ψ en un determinado instante de tiempo, entendiendo el coste como el cociente entre la información útil recibida por el usuario $[IR(t)]_N$ procedente de la notificación N y la información perdida $[IP(t)]_C$ desde el componente C que forma parte de la interfaz del sistema de control principal y que el usuario pierde por dedicar su atención a la interfaz del sistema de notificación en lugar de centrar su atención en el sistema de control principal (véase Ecuación 1). Este cociente siempre ha de ser mayor que la unidad, puesto que en caso contrario se debería evitar la distracción en el usuario y se debería volver a diseñar la interfaz ya que el sistema de notificación no está proporcionando información útil para realizar las tareas de control del sistema.

$$\Psi(t) = \frac{[IR(t)]_N}{[IP(t)]_C} > 1$$

Ecuación 1 Coste de la notificación, para un escenario y contexto específicos, como relación entre la información entregada al usuario por la notificación N y la información perdida desde el componente C en un determinado instante t

Esta relación depende de forma directa del tiempo y de forma indirecta depende del contexto y el escenario que tienen lugar en cada instante de tiempo, puesto que la información recibida por el usuario procedente de la misma notificación se debe enviar o se debe inhibir dependiendo del contexto en el que transcurra la actividad de control del sistema principal.

En un determinado instante de tiempo t sólo puede existir un único contexto, siendo el contexto γ una función del tiempo, el conjunto de eventos E que suceden en ese instante de tiempo y las condiciones iniciales C_0 de las que parte el contexto. Es decir,

$$\gamma = \gamma(t, E, C_0)$$

Un determinado escenario viene fijado por el instante de tiempo actual en una operación normal, sin eventos relacionados con fallos en el sistema de control principal. En tanto que el contexto está relacionado con las condiciones generales de cada escenario; para la evaluación del A400M se consideran los siguientes contextos [Vollard 2003]:

- con luz del día y sin fenómenos meteorológicos adversos (incluyendo lluvia y nubes);
- sin amenazas enemigas;
- sin tráfico aéreo alrededor, excepto en situaciones de repostaje en vuelo;

- tripulación entrenada específicamente para este avión;
- configuración estándar (sin modificaciones) del avión; y,
- no falla ningún equipo.

La evolución de los escenarios depende también de los eventos asociados a los diferentes contextos. La ocurrencia de estos eventos es también origen de distintas notificaciones.

En la Figura 12 pueden verse los escenarios empleados en la evaluación de la interfaz del A400M, tanto en las evaluaciones empíricas como en las evaluaciones llevadas a cabo con el modelo predictivo. Así mismo en la Tabla 9 [Vollard 2003] se recogen los instantes de tiempo en los que deben producirse cada uno de los escenarios que intervienen en la evaluación empírica con usuarios en el A400M.

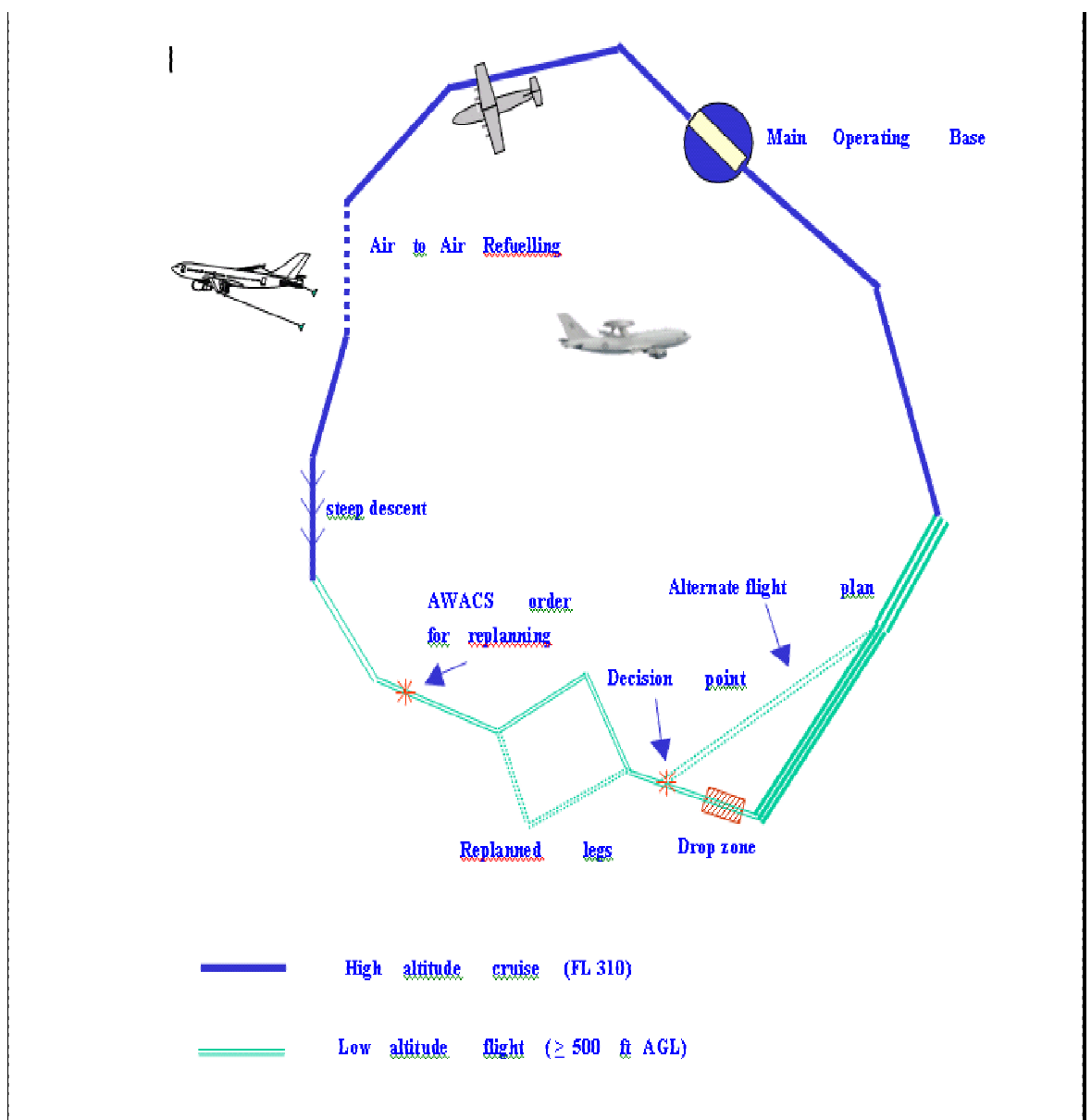


Figura 12 Escenarios empleados en la evaluación de la interfaz del A400M

Scenario	Comments	Estimated duration
<i>Pre-flight check</i>		15 min
<i>Taxi and take off</i>		5 min
<i>Climb</i>	IFR SID procedure FMS guidance (3D + T) Cruise altitude: FL 310	20 min
<i>High altitude cruise</i>	IFR FMS guidance 3D + T	30 min
<i>AAR</i>	Air Tacan use, then tanker visual approach.	30 min (incl. 15 min refuelling)
<i>High altitude cruise</i>	IFR FMS guidance 3D + T	15 min
<i>Steep descent</i>	FMS guidance 3D + T	5 min
<i>Low altitude flight</i>	AWACS gives information for avoiding a specific area. Message is received at least 5 minutes before end of present leg. FMS guidance 3D + T AP/AT engaged Altitude: ≥ 500 ft AGL	15 min
<i>Low altitude flight</i>	A/C flies re-planned route FMS guidance 3D + T AP/AT engaged Altitude: ≥ 500 ft AGL	10 min
<i>Low level flight</i>	FMS guidance 3D + T AP/AT engaged Altitude: ≥ 500 ft AGL	5 min
<i>Aerial delivery</i>	FMS guidance 3D + T AP/AT engaged Altitude: ≥ 500 ft AGL Drop height about 1000 ft AGL	15 min
<i>Low altitude flight</i>	FMS guidance 3D AT engaged Altitude: ≥ 150 ft AGL	10 min
<i>Climb</i>	IFR FMS guidance 3D	20 min
<i>High altitude cruise</i>	IFR FMS guidance 3D FL 310	20 min
<i>Approach and landing</i>	IFR FMS guidance 3D STAR procedure	20 min
<i>Post flight check</i>	Post flight check, up to engine stop	5 min

Tabla 9 Principales características de cada escenario y duración de cada uno de ellos.

Por tanto, el **coste de la notificación** es un parámetro crítico que puede variar su valor de forma **dinámica** para una misma interfaz: para una misma notificación, el valor del coste de la notificación dependerá del instante de tiempo en el que se produzca.

Sin embargo, no parece posible evaluar la interfaz de un sistema de notificación en función de este parámetro crítico sin tener en cuenta el sistema control al que está relacionado el sistema de notificación. De este modo, no sería posible realizar la evaluación de un SNA sin haber diseñado previamente el sistema de control. Tampoco parece deseable acoplar los principios de diseño y la evaluación de un SNA a un sistema de control determinado y a su interfaz. Por tanto, es necesario recurrir a otros parámetros críticos '**secundarios**', distintos del parámetro crítico 'primario' (el coste de la notificación), que estén relacionados directamente con el coste de la notificación y que permitan una evaluación objetiva y cuantificable del sistema de notificación sin la necesidad de disponer previamente del sistema de control.

Para ilustrar esta relación, es posible imaginar un aeropuerto, en el que el parámetro crítico 'primario' para diseñar el tamaño del mismo y el número de pistas, es el número de aterrizajes y despegues por unidad de tiempo (hora o día). Si no hubiese forma de detectar y contabilizar el número de aviones que aterrizan y despegan, podríamos acudir a medidas estimativas basadas, por ejemplo, en la cantidad de goma existente en la pista (parámetro crítico 'secundario') procedente de los neumáticos de los aviones. Por supuesto que hay aviones con un mayor número de ruedas que otros, y que por tanto, no podremos tener una medida exacta del número de vuelos, pero podremos establecer una relación directa entre el número de vuelos y la cantidad de goma existente en las pistas. Otros parámetros críticos 'secundarios' como la longitud de la pista permiten refinar aún más esta evaluación, puesto que una longitud de pista corta permite descartar vuelos de grandes aviones que precisan un mayor número de ruedas.

Del mismo modo, para el marco de evaluación de interfaces de Sistemas de Notificación en el campo de la aviónica desarrollado en esta tesis, se recurrirá a parámetros críticos 'secundarios' o equivalentes que configuran la "**limitación mental**" de los usuarios a la hora de recibir notificaciones. En adelante, estos parámetros críticos secundarios serán referidos solamente como parámetros críticos.

Como primer paso para la integración de los parámetros críticos seleccionados para un SNA en el modelo predictivo, se relacionan con los principales elementos del modelo cognitivo de los Recursos Múltiples [Wickens y Hollands 2000]. Estas relaciones se muestran en la Figura 13.

Aunque estos parámetros y sus relaciones con este modelo cognitivo se describen con más detalle en las secciones siguientes, a continuación se ofrece una visión global y se establece resumidamente la relación entre los parámetros primarios y los parámetros cognitivos en la interfaz de un SNA:

1. Complejidad y sobrecarga de información y su relación con la **memoria de corto y largo alcance**, y con la capacidad de un usuario para **analizar, comprender y retener información**, dependiendo de su familiarización con el **dominio**, las **redundancias** de información presentes en la interfaz y las **dimensiones** de estas redundancias [Abernethy 1988; Walter y Fisk 1995].
2. Multitarea y su relación con las limitaciones en los recursos cognoscitivos de los usuarios, de la **memoria de corto alcance** y la **atención**, debida a la **interferencia entre tareas** que precisen de los mismos recursos [O'Donnell y Eggemeier, 1986; Gopher y Donchin, 1986; Tsang y Wilson, 1997; Hendy, Liao y Milgram, 1997]. A pesar de la enorme capacidad del ser humano para recibir **estímulos** y sensaciones, **recordar** y **razonar**, sus capacidades cognitivas son muy limitadas cuando se trata de fusionar información procedente de varios canales, especialmente en la situaciones en las que hay que recordar un puñado de ideas o de ítemes en la memoria de corto alcance para reconocer un componente [Eriks y Yeh 1985] o entrelazar varias tareas al mismo tiempo [Gillie y Broadbent 1985].

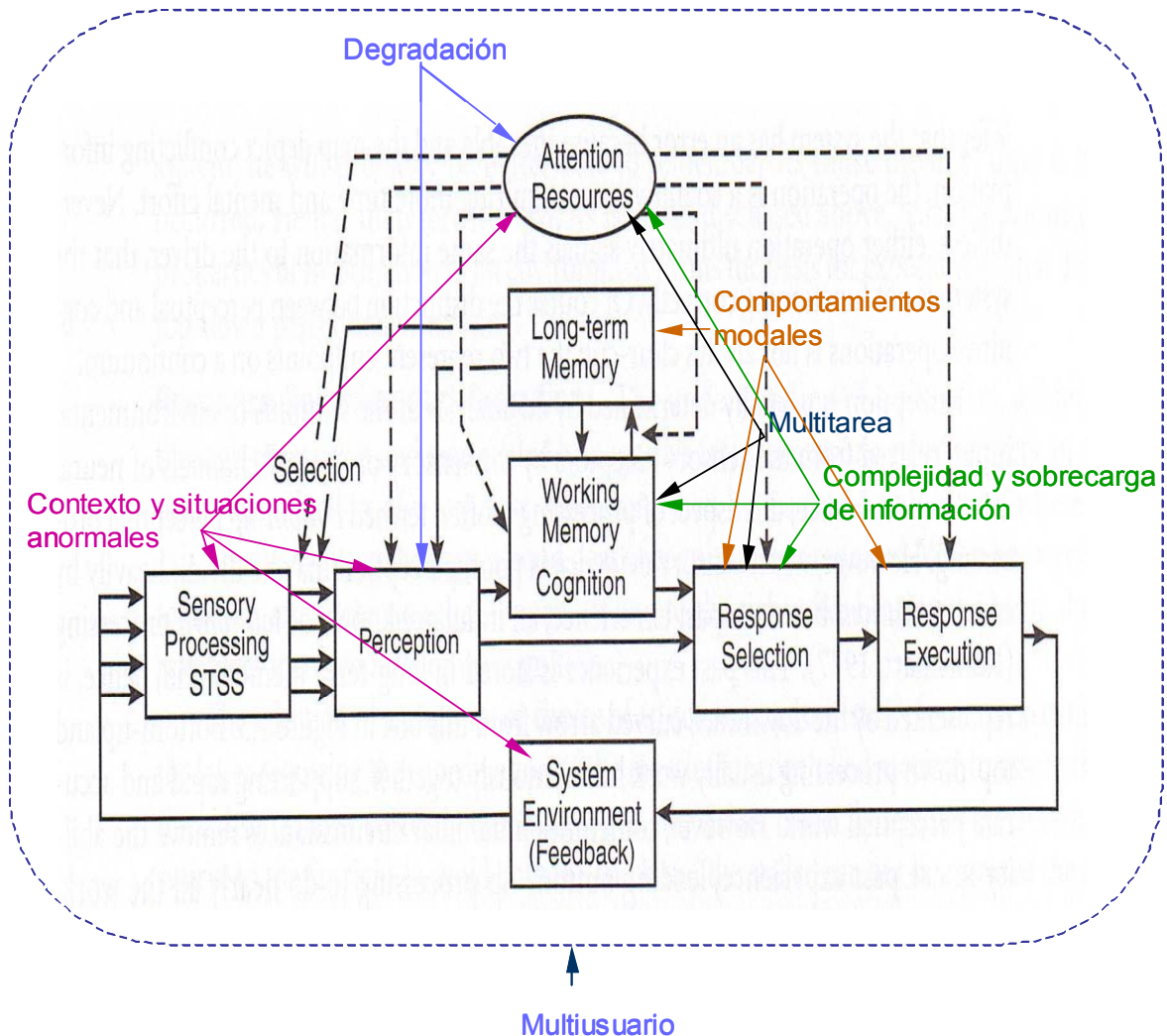


Figura 13 Relación de los parámetros críticos de un SNA con el modelo de recursos limitados.

3. Comportamientos modales, múltiples opciones y hábitos. Relacionados con la **selección y ejecución de la respuesta**, y la **memoria de largo alcance**. La existencia de distintos modos al interactuar con una interfaz indica la existencia de más de un plan para poder realizar una tarea. De esta manera, el usuario debe elegir qué plan seguir y necesita recursos cognitivos para la **toma de decisiones** [Raskin 2000]. Por otro lado, el desarrollo de hábitos automatiza las tareas y reduce los recursos necesarios para realizar la misma tarea. El desarrollo de hábitos permite también elegir siempre el mismo modo de realizar una determinada tarea, haciendo superflua la existencia de modos en las interfaces para los sistemas críticos.
4. Contextos y situaciones anormales. En situaciones anormales, el usuario **focaliza** toda su atención en realizar las tareas que permitan volver a la operación normal. En estos casos, si se produce una situación más grave que la situación en la que se encuentra, el usuario no las percibirá [Loftus 1979] y será preciso que el sistema de notificación, de forma dinámica, aumente el estímulo para atraer la atención del usuario [Raskin 2000].

5. Degradación y pérdida del rendimiento. La interacción continuada con una interfaz produce cansancio y hace que las prestaciones disminuyan, aumentando el número de **errores**. La interfaz de un SNA debe proporcionar el número de redundancias necesarias para limitar el número de errores producidos por la interacción prolongada.
6. Interfaz compartida por más de un usuario, relacionada en la **colaboración** y en la **distribución** de las tareas.

Para mejorar el carácter formal del modo predictivo se han suprimido los dos últimos parámetros dado que sólo existe una **evidencia parcial** que relaciona la usabilidad con la capacidad de una interfaz para permitir la operación multiusuario [Gutwin y Greenberg 2000], y no se ha encontrado ninguna evidencia que relacione usabilidad con degradación y pérdida de rendimiento.

Es obvio que cualquier método de evaluación propuesto debe verificar el objetivo primero y fundamental de cualquier evaluación: comprobar que la interfaz diseñada sirve para realizar aquello para lo que se pensó [Newman y Lamming 1995; Mayhew 1999]. En el caso de este trabajo, este objetivo tiene una triple vertiente:

- realizar las tareas típicas para recibir información importante para desempeñar las tareas concernientes al control de un sistema crítico, especialmente en situaciones críticas;
- monitorizar de forma periódica los principales parámetros de control de nuestro sistema; y,
- absorber totalmente la atención del usuario o no interferir en absoluto, dependiendo del escenario y del contexto, en el desempeño de las tareas primarias del sistema crítico.

Los parámetros críticos expuestos anteriormente en este documento se inspiran en los parámetros críticos sugeridos por [McCrickard et al. 2003b; Brooker, Chewar y Scott MacCrickard, 2004], aunque no se puede compartir con estos autores la exclusión del contexto y de la satisfacción del usuario.

El contexto no puede excluirse por ser un factor clave y esencial en un sistema crítico: no es lo mismo realizar la misma tarea de aterrizaje con la interfaz sin ningún fallo en el avión que realizarla con un motor averiado y con malas condiciones de visibilidad.

La satisfacción del usuario tampoco puede excluirse, puesto que se deriva directamente de la efectividad y la eficacia con la que debe funcionar el sistema de notificación, y ambas, efectividad y eficacia, son objetivos primordiales en una evaluación satisfactoria de usabilidad: “que el sistema cumpla las expectativas del usuario” [Newman y Lamming 1995; Mayhew 1999; Dix et al. 2003; Preece et al. 2002].

Estos tres parámetros críticos (interrupción, reacción y compresión) han sido objeto de numerosas investigaciones ([Horvitz 1999; Horvitz et al. 1999; Healy et al. 1996; Green 1999; Macintyre et al. 2001]) y en este documento su descripción se complementa con los diagramas de Recursos Múltiples de Wickens y Hollands [Wickens y Hollands 2000]. Como puede apreciarse en la Figura 14, en la Figura 15 y en la Figura 16, estos tres parámetros críticos no son un sistema de generadores de todos los elementos del modelo de recursos limitados, ya que no contemplan ni la memoria de largo alcance ni la atención.

Relacionado con los Sistemas de Notificación, la **interrupción**, se define como la ocurrencia de un evento que provoca el cambio en la atención del usuario (“el más preciado tesoro” en la interacción humano-computadora ([Horvitz 1999; Horvitz et al. 1999]), desde la tarea que está realizando a la tarea de notificación. En mayor o menor medida, forma parte de los requisitos sobre las tareas primarias de cualquier sistema de notificación y se contempla profusamente en los objetivos del usuario y en la descripción de escenarios. En ocasiones, el sistema de notificación no debe interferir en la tarea a la que el usuario dedica su atención (por ejemplo, en los sistemas de información embarcados en automóviles y algunos sistemas embarcados en aviones) y en otras ocasiones debe reclamar y centralizar inmediatamente su

atención (por ejemplo, en los sistemas de control de centrales nucleares y algunos sistemas defensivos y de ataque de aviones militares).

La **interrupción** (véase la Figura 14) es el primer parámetro crítico e impacta en el resto de parámetros y en la utilidad del sistema global. La interrupción implica ineludiblemente distracción de la tarea primaria que se estaba realizando.

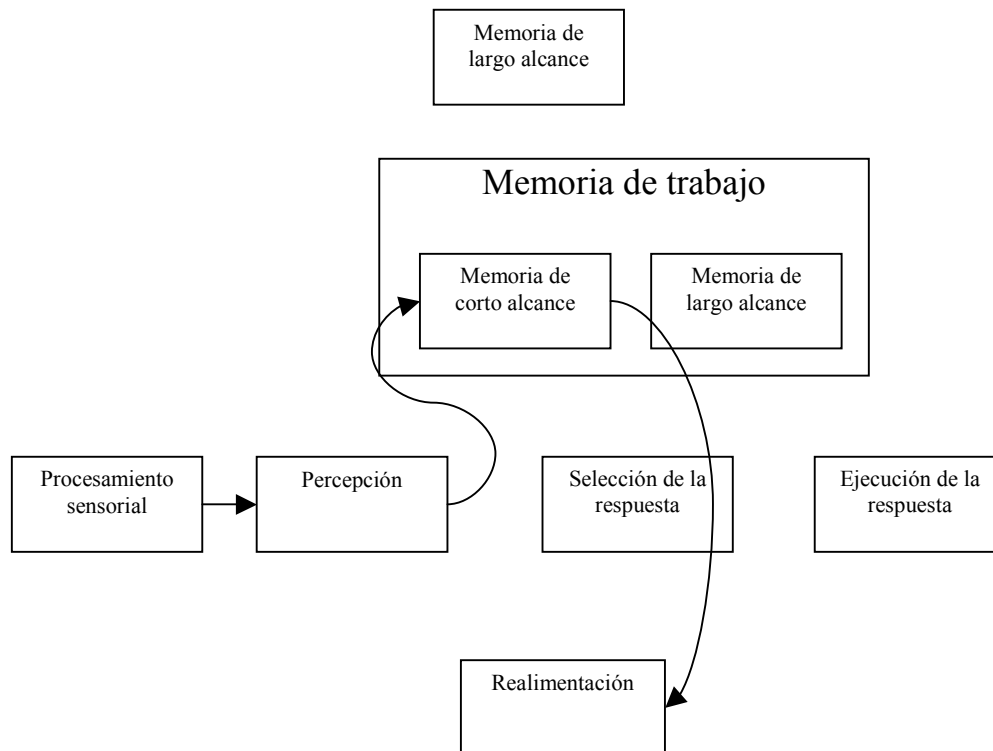


Figura 14 Flujo de atención en la interrupción en el modelo de Recursos Múltiples según [McCrickard et al. 2003b]

La **reacción** (véase la Figura 15) es la respuesta rápida y precisa¹⁹ a los estímulos proporcionados por los Sistemas de Notificación [McCrickard et al. 2003a]. Cualquier tipo de indicador (de velocidad, temperatura, presión, etc.) puede considerarse un ejemplo de sistema de notificación basado en la reacción.

¹⁹ A pesar de ser considerados en este trabajo [McCrickard et al. 2003b] como esenciales en la evaluación de Sistemas de Notificación, no hay ningún criterio que permita evaluar conceptos tan ambiguos y poco precisos como 'rápida y precisa'.

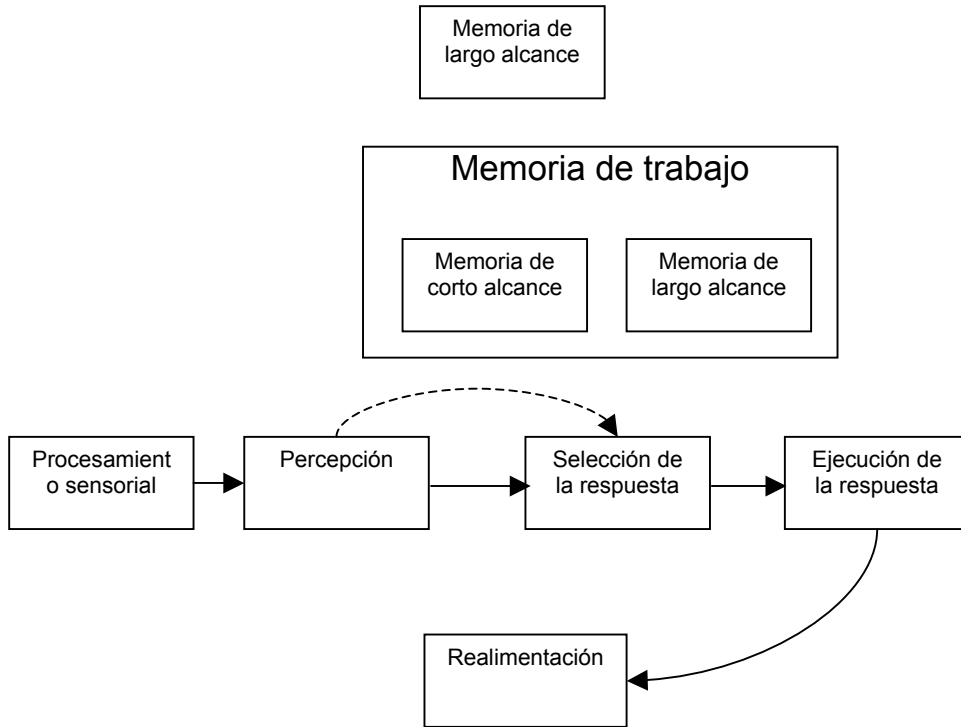


Figura 15 Flujo de atención en la reacción en el modelo de Recursos Múltiples según [McCrickard et al. 2003b]

La **comprensión** (véase la Figura 16) es la capacidad que permite que el usuario de un sistema de notificación pueda recordar y dar sentido a un mensaje notificado en algún instante anterior. Un buen ejemplo son las pantallas con información (descartando los avisos visuales) sobre los vuelos en los aeropuertos o la permanente visualización del estado del tráfico en las principales vías de circulación.

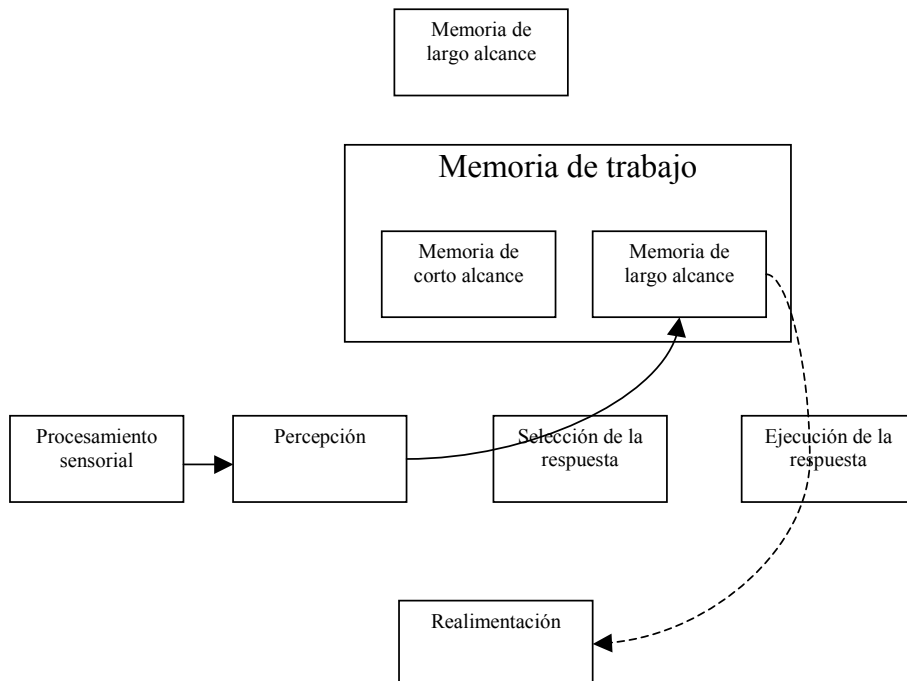


Figura 16 Flujo de la atención en la comprensión en el modelo de Recursos Múltiples según [McCrickard et al. 2003b]

Estos tres parámetros críticos, **interrupción, reacción y comprensión**, pueden considerarse como el núcleo de los parámetros de evaluación o si se prefiere como la clase primigenia que, a través de la especialización y la herencia, permitirá cumplir con uno de los principios básicos de cualquier método de evaluación propuesto: la extensión a otros sistemas. En el caso de este trabajo, la extensión a la evaluación de las interfaces de Sistemas de Notificación empotrados en sistemas críticos incluye (véase Figura 10) la herencia múltiple de los parámetros críticos de los sistemas críticos (efecto de los errores de los usuarios, los efectos de los descuidos de los usuarios y la carga de trabajo) y los Sistemas de Notificación (interrupción, reacción y comprensión). A su vez la evaluación de estos sistemas debe heredar los parámetros básicos de la evaluación de usabilidad de cualquier interfaz: Eficacia en las tareas primarias, Usabilidad (facilidad de uso, realimentación a los usuarios, facilidad de aprendizaje), Cuota de atención requerida en los usuarios, Coherencia en toda la interfaz y Escalabilidad.

Los parámetros propuestos además deben cumplir otro requisito básico para formar parte de la evaluación: poder ser **reproducibles**. Para ello deben proporcionar datos cuantitativos y, por tanto, los parámetros seleccionados deben ser **manejaables** y **mensurables**; el marco de evaluación proporciona escalas y unidades de medida para cada uno de los parámetros.

A continuación se describen más detalladamente los parámetros críticos para las interfaces de SNAs aportados en este documento y su relación con los elementos del modelo cognitivo. También se propondrán las escalas y unidades de medida. Esta descripción permite obtener la función Φ de evaluación (introducida en los objetivos de esta tesis en el capítulo 1) que se aplica a la interfaz de un SNA.

4.3.1. Parámetro 1: Complejidad y Sobrecarga en la información.

En esta sección se describen las relaciones matemáticas incluidas en el modelo predictivo y relacionadas con el parámetro 1. La mayor parte de estas relaciones matemáticas proceden de la **teoría de la información y detección de señales**.

Son muchos los usuarios de complejas interfaces de sistemas críticos que se han enfrentado a la situación de sentirse paralizados, totalmente indecisos, sin ser capaces de recordar los múltiples niveles de páginas de datos o la sintaxis arcana necesarios para controlar adecuadamente el sistema.

Los principales problemas que presentan las interfaces de los Sistemas de Notificación de Sistemas Críticos son la **complejidad** y la **sobrecarga de información**. Mucha información puede afectar adversamente nuestra capacidad de reacción y de manejo de la información contenida o proporcionada en la interfaz. El abuso de mensajes irrelevantes proporcionado por la interfaz puede depreciar considerablemente subsiguientes mensajes muy valiosos para los usuarios.

La información contenida en una notificación debe adaptarse estrictamente a la reacción o a la selección de la respuesta inducida en los usuarios. Los usuarios no deben verse obligados a elegir en qué parte de la notificación deben centrar su atención ni a tener que suponer nada. Tampoco se debe sobrecargar a los usuarios con exceso de información que les lleve a formular hipótesis erróneas. De otra parte, una notificación pobre en contenido puede conducir a los usuarios a no prestar atención a la información recogida en una notificación porque no sean útiles.

La **teoría de la información** de [Shannon y Weaver 1949] muestra que la capacidad intelectual humana está limitada por su capacidad de **almacenamiento** y **procesamiento** de la información, por ejemplo por la capacidad de su memoria de corto alcance y sus habilidades auditivas. El ser humano se considera un canal de transmisión de la información con una única entrada y una única salida. Cuando la cantidad de información presente en la entrada es baja se envía por completo a la salida, pero cuando aumenta la cantidad de información, a partir de un cierto valor H_0 , no se transmite toda la información. H_0 es el límite a partir del cual

aparecen los errores o las omisiones en la transmisión. Este límite de la capacidad humana se establece en 3 bits, correspondiente a una capacidad de discriminación de 7 señales por segundo en una sola dimensión. Este límite no es absoluto, varía de una persona a otra (algunos jugadores de ajedrez llegan a 16 bits [Chase y Simon 1973]) y, para una misma persona, depende de la situación según los siguientes factores:

- El número de dimensiones o aspectos que intervienen en el estímulo;
- La posibilidad de tener puntos de referencia en la discriminación (*'anchor factors'*) ;
- La posibilidad de agrupamiento en clases significativas (*'chunks'*);
- El nivel de aprendizaje;
- El valor absoluto (por ejemplo, tamaño de la letra, color empleado, volumen de sonido) del estímulo y el intervalo entre los estímulos que deben ser discriminados; y,
- La compatibilidad entre estímulos y respuestas.

Según el modelo de la **teoría de detección de señales** (TDS) [Green y Swets, 1966] la información enviada por el sistema de notificación está sometida a dos estados discretos (**señal y ruido**) que pueden no ser fácilmente discriminables (véase la

Figura 17). La señal correspondería a una notificación enviada de forma adecuada y el ruido puede corresponderse con la sobrecarga en el usuario y/o un mal diseño de la interfaz que dé lugar a interferencias en los canales de recepción del usuario (v.g. visual y auditivo), superposición de notificaciones, interrupciones insuficientes en el foco de atención del usuario, notificaciones inútiles por repetición (y el consecuente desarrollo de un hábito que hará que un usuario rechace automáticamente cualquier notificación) y falta de entrenamiento del usuario.

Esta situación aplicada a un sistema de notificación puede reflejarse en la Figura 18, en la que pueden apreciarse dos estados discretos en la respuesta del usuario (SÍ, NO), correspondientes a los estados en los que el usuario responde a la notificación o no hay respuesta por parte del usuario, y basados en dos estados de decisión:

- (1) sensorial en la percepción de la señal, y directamente relacionada con la interrupción empleada para atraer la atención del usuario y, sobre todo,
- (2) su capacidad para decidir si esta percepción indica señal o no, relacionada con los parámetros críticos descritos en este capítulo.

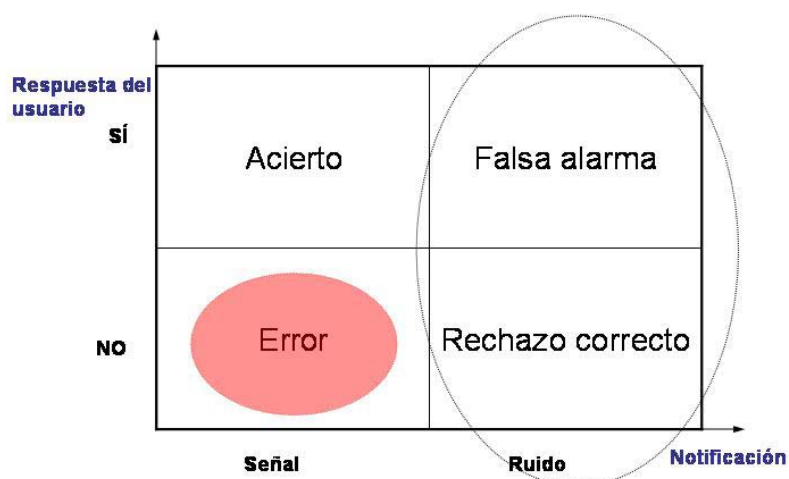


Figura 17 Teoría de Detección de la Señal en Sistemas de Notificación

Es de hacer notar que, como en cualquier sistema embarcado en un avión, los sistemas se diseñan para minimizar en lo posible el ruido debido al sistema. Así el ruido puede producir falsas notificaciones por alarmas que realmente no se han producido o no enviar una notificación relevante debida a un suceso que sí se haya producido. Por tanto, el error en los Sistemas de Notificación en aviónica será achacable a la interfaz del sistema de notificación o la interacción entre el usuario y la interfaz, y no al sistema en sí mismo.

En la evaluación se debe comprobar que no son posibles los errores debido a la interfaz y la interacción del usuario con la interfaz, y el marco de evaluación descrito en este documento debe ser capaz de predecir si se van a producir situaciones que conlleven un error en la interacción.

La información incluida en la interfaz de un SNA debe adaptarse estrictamente a la reacción necesaria de los usuarios, sin necesidad de tomar ninguna decisión en situaciones críticas: Los usuarios no deben estar obligados a elegir qué información precisa su atención [HFDS 2003].

Por otro lado, un defecto en la información asociada a un evento puede obligar a los usuarios a tomar decisiones innecesarias o a no prestar atención a una interfaz que no le proporciona información de utilidad.

Otro de los riesgos de la sobrecarga de notificaciones puede ser la automatización o semiautomatización en las tareas de procesamiento de la información: si la mayoría de los mensajes recibidos son irrelevantes y los usuarios los perciben como una molestia y una distracción que se elimina con el reconocimiento del mensaje, entonces los usuarios, con la repetición, automatizarán [Baars 1988] el reconocimiento de las notificaciones independientemente de la carga semántica de los mensajes. La novedad se convierte en repetición, la emergencia en un evento esperado y las decisiones en una tarea rutinaria. Los usuarios pasan de interactuar con el sistema de notificación de una forma consciente a interactuar de una forma inconsciente [Raskin 2000]. La notificación se convierte en un acto (semi-)automatizado que reacciona de forma inconsciente y automática a la interrupción y no se realizan ni las fases de reacción ni comprensión. En este caso el sistema de notificación ha perdido su finalidad y se ha convertido en una distracción o una molestia para los usuarios.

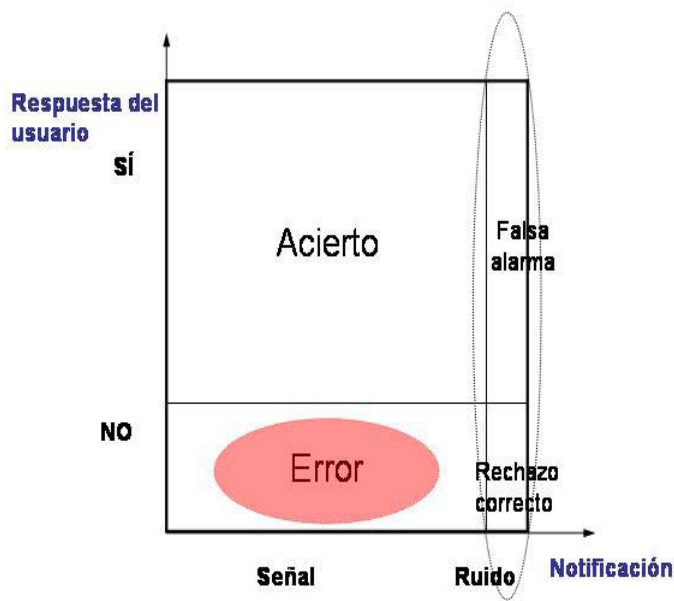


Figura 18 Teoría de Detección de la Señal en Sistema de Notificación en Aviónica

Por tanto, el sistema de notificación de un sistema crítico debe cumplir el principio de “**información mínima**”: la información debe ser simple e inteligible para que los usuarios puedan entender las limitaciones y validez de las notificaciones. Así, el usuario siempre confiará en la información proporcionada por el sistema de notificación.

Por ejemplo, en una cabina de avión, la tarea de monitorización periódica del nivel de combustible no debe generar notificaciones al pasar por ciertos puntos intermedios, salvo los avisos de combustible insuficiente para llegar al punto de destino [HFDS 2003].

En relación con este parámetro, el marco de evaluación debe verificar que:

- Se sigue el paradigma “*need to know*” [Baecker et al. 2000] según el cual solamente se notifica a los usuarios la información que es útil en cada momento para realizar las tareas de control. La eficiencia en la información puede perderse tanto por la ausencia de información como por una información excesiva. Su aplicación a la interfaz de un sistema de notificación para sistemas críticos se plasmaría en las siguientes reglas heurísticas para la evaluación:
 1. El funcionamiento del sistema crítico y su configuración son monitorizados permanentemente.
 2. En caso de producirse un fallo en el sistema (único o múltiple) el sistema de notificación:

2.1. Proporciona un aviso visual y sonoro a los usuarios para reclamar su atención correspondiéndose con la **fase de alerta**²⁰.

2.2. Cada aviso debe proporcionar un mensaje asociado que permita una identificación (**fase de reconocimiento**) precisa del evento que produjo el fallo. Esta información constituye el **mínimo de información** (véase Figura 26) necesario en cada notificación. Así en la notificación del mensaje de voz "*Terrain, pull-up*" que se produce en la cabina de avión cuando se desciende demasiado para la fase de vuelo actual, a la vez que se atrae la atención del usuario, se incluye información necesaria para identificar un evento ("*terrain*") e información sobre la acción inmediata que debe realizar el usuario ("*pull-up*"). El *mínimo de información comprende* únicamente la información necesaria para identificar el origen del evento que dio lugar a la notificación.

2.3. Mostrar a continuación las consecuencias en el sistema y las posibles operaciones necesarias para solucionar el fallo (**fase de aislamiento**).²¹

2.4. La información asociada a cada notificación debe cesar una vez que han desaparecido las causas que lo produjeron.

- Los mensajes correspondientes a dos notificaciones simultáneas cualesquiera del conjunto de todas las posibles notificaciones, no son contradictorios, ni inconsistentes ni inducen a error a los usuarios.
- Cualquier notificación de un evento no requiere niveles excesivos de atención que le impidan realizar simultáneamente la tarea primaria de control del sistema crítico (véase parámetro 2) o períodos prolongados de atención que conlleven una degradación en las prestaciones del usuario (véase parámetro 5).
- Asegurar que la información comprendida en cada notificación es entregada a los usuarios correctamente en cualquier situación. Así, en una notificación sonora se debe asegurar que el usuario puede oírlas independientemente del ruido existente en el entorno de la interfaz, pero evitando un nivel de ruido que moleste indebidamente al usuario. Por tanto, el nivel sonoro debe configurarse dinámicamente dependiendo del nivel de prioridad de la notificación y de la situación en la que se produzca (véase la sección 4.3.4). Por ejemplo, el nivel sonoro del sistema de notificación en los aviones modernos depende del número de motores que están funcionando y del régimen de trabajo de cada motor.

El principal objetivo de la evaluación de este parámetro es comprobar que no se sobrepase la capacidad de la memoria de corto alcance del usuario, estimada para un usuario estándar en una situación normal en 3 bits, según la regla del número mágico 7 ± 2 [Miller 1956].

El marco de evaluación comprueba que la información proporcionada no debe ser superior a un 5% de la información proporcionada por la tarea principal, con un máximo de 50 mensajes distintos de no más de 10 palabras [HFDS 2003].

Por ejemplo, en el avión Airbus A380 el número total de mensajes para 2 tripulantes sobrepasa los 1200 mensajes de 12 palabras ó 72 caracteres como máximo. De esta cantidad de mensajes, los pilotos volarán durante años sin ver el 90% de estos mensajes, y algunos de estos mensajes, ni tan siquiera aparecerán en la vida del avión. En el avión A400M, el número de mensajes se ha reducido, significativamente, a 250, aunque la funcionalidad de este avión es mayor que la del A380 y el número de tripulantes precisos es de 3.

²⁰ Las fases de *alerta, reconocimiento y aislamiento* se corresponden con las fases en la que predominan respectivamente los parámetros críticos IRC (*interrupción, reconocimiento y comprensión*). De esta forma la evaluación del parámetro 1 cubre la evaluación de los parámetros IRC y puede considerarse un generador de los mismos (véase sección 4.8). La fase de aislamiento no sería posible sin la fase comprensión.

²¹ Ver nota 20

Con relación a este parámetro, el marco de evaluación debe identificar la información que es relevante, en una doble vertiente, la información manejada por la máquina y la información manejada por el humano, teniendo en cuenta que la información contenida en un mensaje de notificación está centrada en el usuario y no en el sistema.

A continuación se detallan los algoritmos incluidos en las **evaluaciones proporcionadas por el marco de evaluación** para la sobrecarga y complejidad de la información:

1. **Sobrecarga.**

Se comprueba que el diseñador ha tenido en cuenta el principio de **información mínima**, según el cual la interfaz incluye menos de 50 mensajes cuyo contenido ponderado con su probabilidad cumple, para cada uno de los componentes que integran la interfaz, la regla del número mágico 7 ± 2 [Miller 1956] (3 bits), y que no existe ni **ambigüedad** ni **contradicción** en la información, ya que incluye las redundancias necesarias y todas las palabras forman parte del **dominio**.

En el marco de evaluación, este principio se plasma en la Ecuación 2:

$$H_{media} = \sum_{i=1}^N P_i \left[\log_2 \left(\frac{1}{P_i} \right) \right]$$

Ecuación 2 Media de la información enviada en una notificación para todos los posibles escenarios

Donde H_{media} es la información incluida en el mensaje de una notificación, ponderado con la media de la información contenida en todos los posibles escenarios; P_i es la probabilidad de que suceda el estado discreto i y N el número de bits que permiten discretizar los posibles eventos que producen una notificación.

En aviónica todos los sistemas se diseñan con cinco niveles de probabilidad según la clasificación descrita por la

Tabla 1. Por tanto, en un SNA, la probabilidad P_i de que suceda el estado i se corresponde con las probabilidades para las que se diseña el sistema. Esta probabilidad es de 10^{-9} para los sistemas en los que un fallo se considere catastrófico, 10^{-7} para los sistemas en los que un fallo se considere peligroso, 10^{-5} para los sistemas en los que un fallo tiene consecuencias importantes, 10^{-3} para los sistemas en los que un fallo tiene consecuencias de poca importancia.

El número N de los eventos posibles se calcula dependiendo del tipo de la información notificada. A continuación se describen los diferentes tipos de información considerados y el modo de calcular N :

- Para notificaciones que incluyen mensajes de **texto**, N corresponde al número de bits necesarios para cubrir el número total de todos los posibles eventos que pueden producir la notificación que incluye el mensaje de texto. Así, si la notificación incluye el mensaje "Fallo en el motor", N será igual a 2, por ser 4 el número de motores. No se trata tanto de evaluar el contenido del mensaje de texto como de calcular las posibles situaciones que pueden dar lugar al mensaje, ya que, el usuario llegar a reconocer el mensaje sin necesidad de llegar a leerlo por completo, y es capaz de comprender la situación por reconocimiento.

- Para notificaciones que incluyen mensajes con valores **numéricos**, como puede ser una indicación de temperatura o de presión, la carga de información es proporcional al rango numérico definido por los valores máximos y mínimos.

En el marco de evaluación desarrollado en esta tesis se supone que todos los posibles valores están uniformemente distribuidos en el rango de valores y diferenciados en un valor Δ . Además se considera que todos los valores tienen la misma probabilidad de producirse, aunque en realidad, los valores cercanos al valor máximo V_{\max} y al valor mínimo V_{\min} tienen menos probabilidad de producirse, salvo que el rango esté mal seleccionado y no esté centrado en los valores más probables.

La distribución de valores sólo podrá conocerse cuando el sistema principal de control esté finalizado. Para obviar este problema, las interfaces de los SNAs adoptan escalas relativas, porcentuales, en vez de valores absolutos más dependientes de cada sistema.

Por otra parte, dado un valor x , el usuario percibirá el mismo valor si el número notificado es $x \pm \Delta$ ó $x \pm 2 \Delta$. Se estima que el usuario empezará a apreciar valores distintos cuando la diferencia sea aproximadamente la mitad de un orden de magnitud. Así, si la temperatura puede oscilar entre -60.0°C y 120.0°C , aunque el sensor sea suficientemente preciso y en la interfaz del SNA se represente con un número flotante de 64 bits, no tiene ningún sentido que la interfaz muestre un valor $3.5403459432^\circ \text{C}$. Es decir, la diferencia de los valores notificados viene dada por una escala logarítmica, en este caso 0.05°C .

De esta forma el número de posibles eventos vendrá dado por:

$$N = \log_{10} \left(\frac{V_{\max} - V_{\min}}{\Delta} \right)$$

Ecuación 3 Carga de información para un rango de valores numéricos (V_{\max} , V_{\min}) con una resolución Δ .

- Para notificaciones que incluyen mensajes con valores discretos (como los detentores de la palanca de gases, o la marcha seleccionada con la palanca en un automóvil), N se corresponde con el número de bits necesarios para cubrir los n eventos posibles y equiprobables. Si los eventos no son equiprobables, cada evento debe ponderarse con su probabilidad.

$$N = \log_2(n)$$

Ecuación 4 Carga de información en rangos discretos con n eventos distintos y equiprobables

- Para notificaciones que incluyen mensajes con representaciones **gráficas** (diales y 'gauges' de aguja), la carga en bits corresponde al número de sectores en los que se divide el dial ó las barras horizontales y verticales en las que se descomponen la representación del valor numérico (como sucede, con la representación en decibelios del volumen), puesto que el usuario basado en el principio de '**reconocimiento antes que recuerdo**', sólo necesita reconocer que el valor se encuentra en uno u otro sector, y no es necesario que reconozca numéricamente el valor representado.
- Para notificaciones que incluyen mensajes de **voz**, el marco de evaluación desarrollado en esta tesis aún no abarca la evaluación multimedia y puede ser objeto de futuros trabajos. Por tanto, no contempla los mensajes de voz, cuya carga

de información depende del tono, timbre y volumen. No obstante, en las primeras etapas de diseño puede analizarse como si de un mensaje de texto se tratase.

- Para notificaciones que incluyen un **sonido simple**, definido como una única ocurrencia de sonido, sólo se necesita 1 bit para diferenciar si se ha producido sonido o no se ha producido el sonido.
- Para notificaciones que incluyen un **sonido repetitivo**, N es el número de bits necesarios para cubrir el número de posibles repeticiones. Actualmente, en los Sistemas de Notificación de los aviones modernos, hay sonidos que, para una misma notificación, se repiten una única vez (sonido simple) o dos veces el mismo sonido (sonidos dobles) o son sonidos continuos. Son necesarios, por tanto, 2 bits para distinguir estas 3 posibles situaciones distintas.
- Para notificaciones que incluyen **luz**, son necesarios 2 bits para diferenciar 3 posibles estados: ausencia de luz, luz roja y luz ámbar.

En un principio, el número de bits incluidos en cada mensaje se consideró como el número de bits necesarios para soportar toda la información sin ninguna reducción. Es el número de bits correspondiente a la representación ASCII para los mensajes de texto y el número de bits necesario para representar el rango numérico con la precisión requerida. Sin embargo, con estas hipótesis, el modelo predictivo siempre arrojaba sobrecarga de información, en contra de lo que sucede en las tres generaciones de aviones, en los que el usuario no informa de ninguna sobrecarga y la experiencia ha demostrado que realizan satisfactoriamente todas las tareas. Se consideró que el error se encontraba en no tener en cuenta ninguna reducción en la carga de información, de acuerdo con el principio de "reconocimiento antes que recuerdo" [Nielsen 1993] y las "limitaciones secuenciales y de contexto" de la teoría de la información [Wickens y Hollands 2000]. Al introducir las modificaciones descritas anteriormente, el modelo se ajusta de acuerdo con las sobrecargas reportadas en la evaluación empírica de las interfaces.

Para un sistema embarcado, es admisible suponer que toda la información enviada es transmitida por la interfaz del SNA, puesto que el sistema se diseña para que funcione sin errores y que no haya fallos en la transmisión, de modo que toda la información enviada se transmite y no hay pérdidas por ruido; también se ha supuesto, que no se introduce información exterior generada por ruido debida, por ejemplo, a pulsos electromagnéticos. En un SNA también se debe garantizar que la información enviada por la interfaz del SNA es recibida por el usuario, aún en las situaciones críticas más adversas. Para conseguir una fiabilidad máxima y que toda la información enviada por el SNA sea recibida por el usuario se introducen **redundancias en dimensiones correlacionadas** en los mensajes [Garrison 1994].

Formalmente el porcentaje de redundancia de un estímulo se define según la Ecuación 5.

$$\% \text{redundancia} = \left(1 - \frac{H_{ave}}{H_{max}} \right) \times 100$$

Ecuación 5 Definición de la redundancia de un mensaje como la relación entre información transmitida media y la información transmitida máxima

donde H_{ave} es la información media transmitida y H_{max} es la información máxima que puede ser transmitida por las N alternativas equiprobables.

En la interfaz de un SNA se traduce, por ejemplo, en añadir una luz roja parpadeante y un sonido repetitivo a todas las notificaciones de prioridad más alta, además de enviar la notificación en sí misma (textual o gráfica). En este caso, las redundancias presentes son: la notificación gráfica y textual, a la que se añade una luz, con otra dimensión correlacionada por ser exclusivamente roja, una dimensión más por ser parpadeante, otra dimensión más,

ortogonal a las anteriores, el sonido y aún otra dimensión más, correlacionada con las anteriores, por ser un sonido repetitivo. Es decir, un total de 6 dimensiones redundantes para una sola notificación.

La redundancia según dimensiones ortogonales (visual vs. auditivo) aumenta el total de información transmitida y el total de información que puede procesar sin error un usuario [Gadner 1974; Shiffrin y Nosofsky 1994], aumentando la eficiencia de la notificación.

Pero, al aumentar la información transmitida hay también mayor probabilidad de que aumente la información perdida. Para hacer el canal más seguro y que no haya pérdidas de notificaciones, las dimensiones deben estar correlacionadas [Eriksen y Hake 1955], con un grado de correlación igual a 1. Así, por ejemplo si se emplea siempre una luz roja parpadeante para una notificación de alta prioridad, nunca se va a emplear una luz roja para una notificación de baja prioridad, ni tampoco podrá emplearse una luz ámbar parpadeante en su lugar.

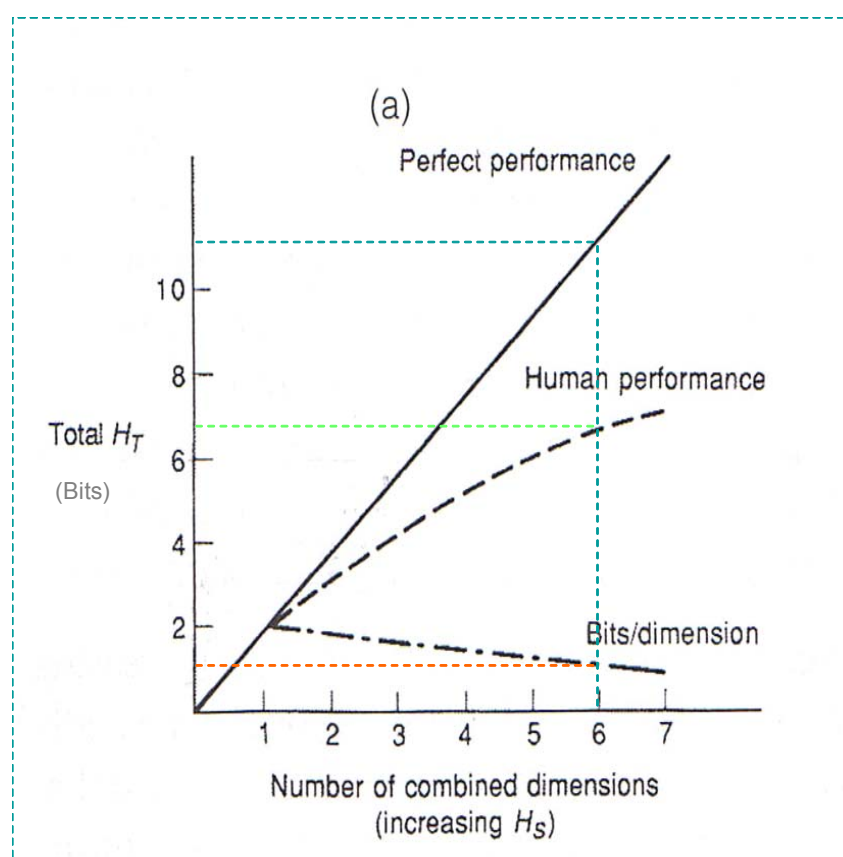


Figura 19 Variación del número de bits de la información transmitida con el número de dimensiones empleadas en la notificación (adaptado de [Wickens y Hollands 2000])

La cantidad de información transmitida, calculada en la Ecuación 2, se pondera entonces según la gráfica de la Figura 19 ([Wickens y Hollands 2000]), en la que se puede ver que para la notificación anterior con 6 dimensiones podrían enviarse hasta 11 bits de contenido para un usuario ideal; no obstante, el número de bits se reduce a menos de 7 para un usuario real, resultando una relación de poco más de 1 bit /dimensión.

El marco de evaluación desarrollado en esta tesis realiza una evaluación de la redundancia de una notificación según las dimensiones empleadas, clasificando los resultados según la siguiente escala y criterios:

- El grado de redundancia de cada componente de la interfaz está comprendido en un rango [0%, 100%].

- Aquellos componentes del SNA que sean críticos (correspondientes a una prioridad de nivel 3 según la Tabla 11) deben tener un grado de redundancia igual al 100%.
- Los componentes de prioridad 2 deben arrojar valores de redundancia en el rango [50%, 100%].
- Si la evaluación de un componente arroja un valor en el rango [0%, 50%) y su prioridad es de nivel 3, la evaluación produce un error indicando que debe aumentarse la redundancia de este componente con dimensiones ortogonales y correlacionadas con la dimensión del componente.
- Si la evaluación de un componente arroja un valor de 0% y su prioridad es de nivel 0 ó 1, se considera que el elemento de notificación es no crítico, y es un candidato a eliminarse de la interfaz si se excede la sobrecarga de información.

A continuación se reproduce una parte de los resultados proporcionados por el marco de evaluación al realizar la evaluación predictiva de la interfaz del A400M relacionada con la sobrecarga de información:

```
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 100.00 %
Componente con demasiada carga de información :      3.30 .
Debe rebajarse en      0.30 bits
Redundancia del componente : 100.00 %
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 100.00 %
Componente con demasiada carga de información :      4.00 .
Debe rebajarse en      1.00 bits
Redundancia del componente : 100.00 %
Mensaje : POWER_RATING_VALUE con una carga de información
adecuada
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 100.00 %
Componente con demasiada carga de información :      3.30 .
Debe rebajarse en      0.30 bits
Redundancia del componente : 100.00 %
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 100.00 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 100.00 %
Mensaje : ON_GROUND con una carga de información adecuada
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 100.00 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 100.00 %
Mensaje : REVERSA con una carga de información adecuada
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo :      4.94 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente :      4.94 %
Mensaje : CAUTION con una carga de información adecuada
```

2. Complejidad de la información

Se debe evaluar que el lenguaje empleado es **simple**, es el **apropiado al dominio**, proporciona la realimentación indispensable [Woods 1.988] y es **consistente** con el resto del sistema. Para ello, el modelo predictivo proporciona una evaluación **semiótica** basada en un analizador sintáctico fundamentado en una ontología básica que contiene un análisis de todas las palabras que forman los mensajes de texto y las leyendas de los gráficos.

En el marco de evaluación, este principio se plasma en comprobar que:

- Las notificaciones no incluyen información irrelevante. Así, en el sistema de notificación del motor es preferible incluir "RPM" antes que "engine rpm".
- Todas las palabras y abreviaturas incluidas en un mensaje de notificación están contenidas en el dominio [AP2080, 2000].
- No hay mensajes repetidos en un componente ni entre todos los componentes que forman la interfaz.
- Todos los valores numéricos y físicos van acompañados con las unidades correspondientes [ISO 9241-10 1996].
- El uso de caracteres y símbolos especiales se restringen a significados muy específicos y siempre en indicadores estáticos. Así, por ejemplo debe evitarse el empleo de los símbolos '→', '←', '↔', '↕', '↗', '↘', '↙', '↚' en indicadores que pueden rotar ('rotary switch').
- Los mensajes de texto no emplean minúsculas [HDFS 2003].
- El uso de una palabra y su abreviatura no se mezclan en una notificación.
- El número de mensajes auditivos asociados a un componente es inferior a 12 [Stanton y Edworthy 1994].
- El número de sonidos diferentes proporcionados por el sistema de notificación debe ser inferior a 8. El número de mensajes con voces sintéticas debe ser inferior a 82. [AMJ 25 2000].
- Además, el marco de evaluación muestra todas aquellas palabras que pueden suprimirse, tales como artículos y preposiciones.
- En el marco de evaluación se incluye una ontología fundacional básica con un vocabulario fijo y reducido de [AP 2080 2000] implementada en un esquema OWL Lite (XML). Este esquema es conceptual y contiene el vocabulario, todas las entidades relevantes y sus relaciones jerárquicas dentro del dominio de la aviónica (en esta tesis doctoral, el dominio viene representado por el procedimiento [AP 2080 2000]). Este esquema está incluido en el esquema XML que caracteriza la interfaz de un SNA (ver Anexo III).

A continuación se muestra un extracto de los resultados obtenidos en la evaluación de la interfaz del A400M en relación a la complejidad de la información:

```

El mensaje POWER_RATING_LEGEND se repite 1
El mensaje POWER_RATING_MAXIMUM_VALUE se repite 1
El mensaje POWER_RATING_VALUE se repite 1
El mensaje TORQUE_VALUE se repite 1
El mensaje ON_GROUND se repite 1

```

...

Componente DIAL_5_POSICIONES no utiliza minúsculas. Evaluación correcta
Componente SECTOR_GRIS no utiliza minúsculas. Evaluación correcta
Componente SECTOR_BLANCO no utiliza minúsculas. Evaluación correcta
Componente TENDENCIA_TQ no utiliza minúsculas. Evaluación correcta
Componente ACENTUAR_TQ no utiliza minúsculas. Evaluación correcta
Notificación :Mensaje 1'mensaje' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'1' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'mensaje' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
'1' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
'mensaje' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
...
Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente SINÓPTICO
Número de mensajes de voz. Evaluación correcta
Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta
Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente MASTER_LIGHT
Número de mensajes de voz. Evaluación correcta
Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta
Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente CAUTION_LIGHT
Número de mensajes de voz. Evaluación correcta
Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta
Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente SINGLE_CHIME
Número de mensajes de voz. Evaluación correcta
Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta
Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente REPETITIVE_CHIME
Número de mensajes de voz. Evaluación correcta
Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta
Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente MENSAJE_VOZ
Número de mensajes de voz. Evaluación correcta
Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta

4.3.2. Parámetro 2: Multitarea.

En esta sección se describen las relaciones matemáticas incluidas en el modelo predictivo y relacionadas con el parámetro 2 Multitarea y la evaluación de la usabilidad a partir de su evaluación. La mayor parte de las relaciones matemáticas incluidas en el marco de evaluación proceden de la evaluación de la carga de trabajo en el usuario como consecuencia de la demanda de recursos

Los usuarios de sistemas críticos deben seleccionar información de múltiples fuentes, ejecutar una multitud de operaciones y coordinar todas estas actividades con otras actividades que se desarrollan fuera del entorno físico en el que se encuentra el sistema crítico. Pensemos por ejemplo en la cabina de un avión moderno, en las que los pilotos leen pantallas, conversan con la torre de control, exploran el horizonte en busca de puntos de referencia o de otros aviones y actúan sobre los controles del sistema para gobernar el avión. Tal demanda de trabajo implica compartir los recursos cognitivos en el mismo instante de tiempo.

Han sido numerosos los autores que se han interesado en el entendimiento de cómo desempeña un ser humano múltiples tareas en el mismo instante de tiempo. [Broadbent, 1958; Moray et al. 1991; Raby and Wickens 1994; Ghoper 1991; Funk 1991; Funk y Braune 1999; Latorella 1996; Tsang y Wilson 1997; Wickens 1999].

El concepto de **carga de trabajo** o **cantidad de trabajo** fue introducido a comienzos del siglo XX en la revolución industrial. En la década de los sesenta, con la aparición de complejos lugares de trabajo como las cabinas de aviones, la carga de trabajo pasó de ser un concepto físico a mental.

Los estudios iniciales se realizaron sobre actividades observables en los individuos y se basaban en el dogma inicial: "Cuanto más trabajo realiza un individuo, mayor es su carga de trabajo". Basado en este dogma, Taylor consideró que existía un modelo de ejecución para cada tarea que produciría unas prestaciones óptimas con una mínima carga de trabajo.

Con la aparición de la teoría de la información [Shannon y Weaver 1949] este concepto se redefinió: la carga de trabajo se consideró como una consecuencia de la **capacidad de saturación** en diferentes niveles de operación. Según este concepto, la cantidad de trabajo permanece ligada al concepto de **tarea**.

Sin embargo, es posible procesar la información de forma simultánea permitiendo que se sobrepase los límites cognitivos de un individuo y mostrando que el modelo de carga de trabajo no puede ser lineal (más tareas implican mayor carga de trabajo). El concepto de carga de trabajo evoluciona a un modelo dinámico de ocupación del canal, pasando de estar centrada en la tarea a estar centrada en el individuo.

[Kanheman, 1973] cuestionó el concepto de canal único e introdujo el concepto de **recursos**: un ser humano debe tener los recursos necesarios para procesar los datos dependiendo de su complejidad. También introdujo el concepto de **motivación**, que permite aumentar los recursos destinados a una tarea a costa de reducir los recursos dedicados a otras tareas.

[Norman y Bobrow, 1975] confirmaron esta teoría e introdujeron un modelo de Recursos Múltiples que [Wickens 1981] amplió estableciendo que existen varios **fondos** de recursos: percepción, procesamiento, activación y respuesta. Estos fondos, permiten distintos grados de prestaciones dependiendo de la compatibilidad entre los canales de entrada de la información y los canales de respuesta.

Además, según [Chase y Simon, 1973] las limitaciones de las capacidades cognitivas de un ser humano pueden aumentarse gracias al **entrenamiento**. En el marco de evaluación predictivo desarrollado en esta tesis se proporciona una predicción del tiempo de entrenamiento necesarios para automatizar las tareas inherentes a un SNA basado en los estudios de capacidad de aprendizaje de los usuarios [Anderson 1996; Laird y Rosenbloom, 1996; Newell, 1990] y su relación con la efectividad del entrenamiento en el sentido del 'mejor aprendizaje en el menor tiempo' [Fabiani et al., 1989].

La razón de **transferencia efectiva** (*Transfer Effectiveness Rate*, TER) [Povenmire y Roscoe, 1973] se define como:

$$TER = \frac{\text{tiempoTotalAhorrado}}{\text{tiempoEmpleadoEnEntrenamiento}}$$

Ecuación 6 Razón de Transferencia Efectiva [Povenmire y Roscoe, 1973]

El tiempo estimado de entrenamiento necesario para cada perfil de usuario se calcula teniendo en cuenta la condición de que la tasa efectiva de transferencia de conocimiento siempre es positiva, correspondiéndose con la región $TER > 0$ según la gráfica mostrada en la Figura 20.

La situación normal del usuario de un sistema crítico implica realizar varias tareas al mismo tiempo, de forma parecida a un sistema multitarea que consta de un único procesador. Según [Card et al. 1983] el ser humano simula la simultaneidad de tareas que requieren control consciente alternando la atención entre las distintas tareas, atendiendo primero una, luego otra y así sucesivamente. El ser humano puede operar secuencialmente y considerar

una única cuestión o controlar una acción en un determinado instante de tiempo. En su memoria consciente, el ser humano sólo puede albergar entre cuatro y ocho pensamientos distintos, que se desvanecen en unos pocos segundos [Raskin 2000].

Toda situación de multitarea conlleva en algún instante de tiempo un cambio de contexto entre tareas y la aparición de alguna tarea nueva o desaparición de alguna tarea que deja de realizarse. Según [Card et al. 1983, página 390] el cambio de contexto o la preparación para una nueva tarea dura alrededor de 10 segundos en un ser humano.

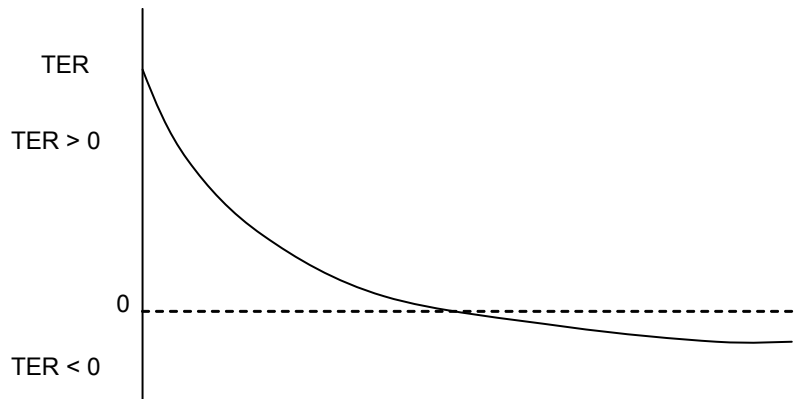


Figura 20 Relación entre el tiempo de entrenamiento y la razón de transferencia efectiva [Povenmire y Roscoe, 1973]

Esta transición no se percibe tan larga porque la mente está ocupada, de forma consciente o inconsciente, en otras tareas. Si esta transición se hace repetidamente se convierte en habitual, se automatiza y los usuarios pueden realizarla en mucho menos tiempo [Fitts y Posner 1967; 1986].

En un sistema de notificación integrado en un sistema crítico la capacidad cognitiva consciente del usuario debe dedicarse primordialmente para las tareas primarias de control del sistema. La “**interferencia**” [Baars 1988] con las tareas principales debida a las tareas de reconocimiento, reacción y comprensión que implica un sistema de notificación debe ser evitada o magnificada dependiendo de la severidad de la información notificada y solamente inducir un cambio de contexto en los usuarios cuando la situación lo requiera.

La interferencia entre las tareas primarias de control y las tareas derivadas de la notificación de información está relacionada con los recursos sensoriales y cognitivos implicados en las tareas. Existe abundante literatura describiendo situaciones de interferencia entre tareas en el control de sistemas críticos, relacionados fundamentalmente con los campos aeronáutico y de automoción ([Parkes y Coleman 1990], [Tufano 1997], [Young y Stanton 1997], [Goodman et al. 1999], [Wickens et al. 2002]), aunque siempre se han considerado en la literatura tareas primarias o secundarias relacionadas con el control del sistema crítico y , hasta hoy, no se ha considerado la interferencia con las tareas del sistema de notificación.

Wickens [Wickens 2002] ha desarrollado una teoría denominada de ‘**Recursos Múltiples**’ (*Multiple Resources*) y un modelo 4-D de recursos compartidos y limitados. Según esta teoría el ser humano posee una serie de recursos limitados y asignables a varias (múltiples) tareas paralelas, separadas o independientes. Según su autor, esta teoría permite predecir situaciones en las que el usuario estará sometido a una sobrecarga de sus recursos.

La demanda de recursos se basa en medidas subjetivas, dependientes de cada persona y su experiencia, y en medidas objetivas como:

- (1) índices fisiológicos de excitación: variación del ritmo cardíaco, dilatación de la pupila, y riego sanguíneo del cerebro,
- (2) características propias de las tareas como la densidad de información intercambiada, uso de la memoria de trabajo y la habilidad de la persona que realiza las tareas.

Basándonos en esta característica podemos realizar una evaluación predictiva sobre los efectos de la multitarea en la interacción del usuario con la interfaz de un SNA.

Las situaciones de sobrecarga mental surgen cuando la relación (cuantitativa) entre los recursos necesarios para realizar una tarea y los recursos que puede proporcionar el ser humano que realiza las tareas es superior a la unidad. Estos recursos incluyen los canales sensoriales (principalmente vista y oído), la memoria de trabajo y las capacidades motoras, verbales y espaciales del individuo. Otros autores señalan al tiempo como el único recurso limitado [Hendy et al. 1997] y de este modo la carga de trabajo²² C puede definirse como:

$$C \equiv \frac{t_r}{t_d}$$

Ecuación 7 Carga de trabajo definida como la relación entre el tiempo requerido para realizar una tarea y el tiempo disponible

Siendo t_R el tiempo requerido para desempeñar correctamente una tarea y t_d el tiempo del que dispone el usuario de la interfaz para realizar la tarea.

Para [O'Donnell y Eggemeier 1986] la **carga de trabajo** se refiere a la parte de la capacidad limitada del usuario que emplea para realizar una determinada tarea. Lo importante de esta última definición es que el usuario tiene un **límite** en sus recursos o en su capacidad de procesamiento que no debería sobrepasarse para que no se produzcan errores en la interacción con la interfaz.

[Cooper y Harper 1969] definen la carga de trabajo en los pilotos como una **integración del esfuerzo mental y físico** percibido por el piloto para realizar una tarea especificada durante un vuelo. En esta definición existe una fuerte carga **subjetiva** que puede estar acentuada por la falta de los conocimientos necesarios por parte de los usuarios para desempeñar la tarea.

También podría definirse la carga de trabajo como el número de tareas que puede realizar un usuario por segundo al interactuar con un computador. En este sentido cada usuario tendría un límite superior, que depende de:

- (1) sus capacidades y habilidades personales,
- (2) su experiencia previa con interfaces similares,
- (3) su entrenamiento específico con la interfaz,
- (4) su dedicación y esfuerzo al usar la interfaz, y
- (5) el contexto o situación particular en el momento de usar la interfaz.

Si se supera este límite superior en las tareas necesarias para controlar el sistema crítico, incluidas las tareas derivadas del sistema de notificación, el usuario se encuentra sobrecargado, disminuirán sus prestaciones [Tsang y Wilson 1997] y fallará al usar la interfaz.

El modelo de Recursos Múltiples de Wickens [Hendy et al. 1997] propone cuatro categorías que influyen las prestaciones de una situación de tiempo compartido entre varias tareas. Cada categoría o dimensión posee dos valores discretos. Las categorías y los valores discretos de cada categoría (véase la

Figura 21) propuestas por Wickens son:

1. Etapas de procesamiento: percepción/proceso cognitivo vs. respuesta.

²² Para los pilotos de avión, el término *sobrecarga* en relación con la carga de trabajo tan sólo manifiesta un enmascaramiento de la carencia de conocimientos en los mecanismos de percepción y rendimiento del ser humano [Erdos 2005]

2. Modalidades de percepción: visual vs. auditiva.
3. Canales visuales: focal vs. ambiental.
4. Códigos de procesamiento: respuesta manual/espacial vs. verbal/simbólico

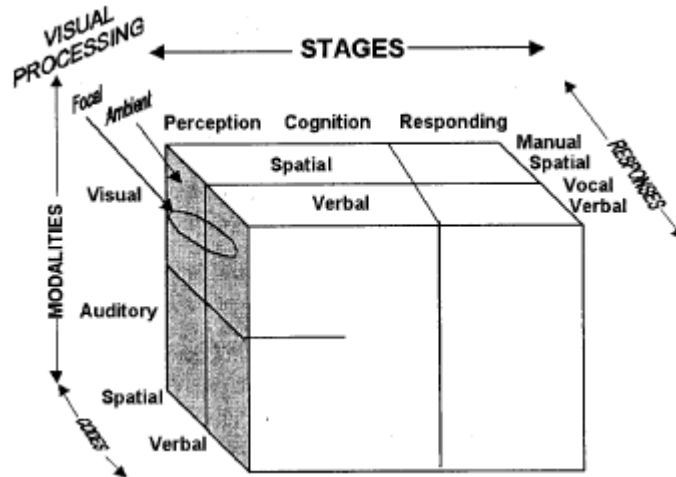


Figura 21 Modelo tri-dimensional de los Recursos Múltiples [Wickens 2002]

Cualesquier dupla de tareas que demanden un mismo nivel de recursos de una misma dimensión interferirán entre sí más que otras tareas que demanden niveles de recursos separados de la misma dimensión. Así por ejemplo, un conductor que debe prestar atención a la carretera (demanda visual y espacial) tendrá menos interferencias con un sistema de notificación que le indique que ruta debe seguir de forma auditiva que con un sistema visual (incluidos los Head-Up Display, HUD) y le resultará más difícil marcar un número de teléfono de forma manual que si lo hace a través de la voz.

Los tres parámetros críticos de un sistema de notificación general IRC (interrupción, reconocimiento y comprensión) son los valores de los estados de procesamiento ($I \approx$ percepción, $C \approx$ cognición, $R \approx$ respuesta) y según este modelo un sistema de notificación cuyas tareas propias, añadidas a las tareas de control del sistema crítico, impliquen la demanda de los mismos valores de la misma dimensión tendrán interferencia entre sí y el usuario se encontrará en una situación de sobrecarga, o verá reducidas sus prestaciones en el desempeño de las tareas a realizar con la interfaz.

Además de verificar que no se producen situaciones de interferencia la evaluación debe verificar que no se producen notificaciones muy seguidas en el tiempo que produzcan un rebosamiento de la memoria de corto alcance y que impidan llegar a comprender algún mensaje de aviso debido a su rápido desvanecimiento en la memoria (entre 10 y 20 segundos en condiciones normales y mucho menos si prestamos atención a otros eventos [Baars 1988]). La situación ideal tendría lugar cuando las tareas de notificación son totalmente 'automatizadas' por los usuarios de forma que no produzcan demanda de recursos [Fitts y Posner 1967, Schneider 1985].

En caso de ser necesario interrumpir el flujo normal de operación, el cambio de contexto entre tareas por notificación o la aparición de nuevas tareas, el marco de evaluación debe verificar que las tareas de interrupción, reconocimiento y comprensión se pueden realizar en un período de unos pocos segundos, inferior al tiempo de desvanecimiento de la memoria de corto alcance, para evitar la necesidad de estímulos adicionales al retornar a la tarea primaria.

También es necesario evaluar la agrupación de tareas, evitando mezclar tareas habituales y conocidas con tareas novedosas. Si se mezclan tareas de ambos grupos, los usuarios se ven enzarzados en una toma continua de decisiones que les obliga a re-planificar las tareas a desempeñar y hace aumentar el número de errores cometidos por las continuas distracciones [Loukopoulos et al. 2001]

No es el objetivo de la evaluación de la interfaz cómo monitoriza el ser humano el progreso de las diversas tareas que desarrolla de forma simultánea.

A la vista de todas las posibles combinaciones de escenarios y contextos, el evaluador debe tener en cuenta que el usuario no esté sobrecargado y que, idealmente, realiza como máximo una sola tarea de forma consciente. El objetivo del marco de evaluación es cuantificar, de forma predictiva, la carga de trabajo del usuario, determinar si el usuario está sobrecargado y detectar las causas de la interferencia entre tareas.

A continuación se detallan los modelos que permiten la evaluación predictiva de este parámetro crítico.

4.3.2.1. Cuantificación de la carga de trabajo del usuario.

La carga de trabajo (*workload*) de un usuario no es constante durante el período de interacción con la interfaz del sistema crítico. Así por ejemplo, un usuario puede interaccionar durante horas con la interfaz de control de llenado de cisternas con ácido o con líquidos inflamables. Esta interacción precisa del usuario una acción inicial de apertura de válvulas, una tarea de monitorización periódica del nivel de llenado y una acción final de cierre de válvulas. La carga de trabajo del usuario alcanza su máximo en las operaciones inicial y final de control de las válvulas, con un utilización máxima de los recursos de percepción visual focal, cognitivo y de respuesta. La monitorización del nivel de llenado, que puede durar horas, hace decrecer su carga de trabajo notablemente (ocupando únicamente el recurso de percepción visual periférica), especialmente si existe un sistema de notificación que le proporcionará la información adecuada cuando se produzca un determinado evento.

Dependiendo de la definición elegida para carga de trabajo, la función $f(T)$ se corresponde con:

1. El número de tareas T realizadas con la interfaz por unidad de tiempo t :

$$C \equiv \frac{t_r}{t_d}$$

Ecuación 8 Carga de trabajo expresada como el número de tareas realizado por unidad de tiempo

2. La relación adimensional entre el tiempo requerido para realizar una tarea y el tiempo disponible, tal y como se definió en la Ecuación 7.

La Ecuación 7 se aplica en la evaluación predictiva, sin producto, y la Ecuación 8 puede aplicarse en la evaluación empírica con producto final desarrollado y con usuarios. La aplicación en evaluación predictiva de la Ecuación 7 entraña la dificultad de la definición y la granularidad de tarea (tampoco es el objetivo de este documento la definición de estos conceptos) de forma cuantitativa debido a su dependencia de la capacidad del usuario para elaborar un mini-plan ideado que le permita realizar la tarea. En sistemas complejos puede resultar imposible aplicar tareas atómicas de forma práctica, como sucede con GOMS y el método *Key Stroke Level* [Mankoff et al. 2003].

A continuación, y de forma secuencial, se detalla el modelo empleado en el marco de evaluación para determinar si el usuario está sobrecargado, en qué porcentaje está

sobrecargado, en qué contexto está sobrecargado, cómo puede mejorar la sobrecarga con el entrenamiento y cuál es el origen de la sobrecarga.

La carga o demanda depende de los recursos afectados (véase la Figura 22), y la carga total vendrá determinada por la suma de las cargas demandadas en todos y cada uno de los recursos. El estudio particularizado de todos los recursos y los efectos de interferencia producidos entre recursos son estudiados en el capítulo 4.3.2.3.

Si C denota la carga de trabajo total de un usuario concreto al realizar una tarea y MC la máxima carga de trabajo admisible en este usuario en la realización de la tarea, podemos establecer que

$$C = \begin{cases} f(T) & \forall T \in \{T_{inicial}, T_{final}\} \\ 0 & \forall T \notin \{T_{inicial}, T_{final}\} \end{cases}$$

Ecuación 9 La carga de trabajo debida a la interacción con una interfaz es una función de las tareas realizas con la interfaz

siendo $f(T)$ la función que define la carga de trabajo del usuario en función de la tarea T de interacción que desarrolle y del contexto y el escenario en el que se desarrolle. El conjunto de tareas que puede llevarse a cabo con la interfaz es finito y viene determinado por el conjunto $\{T_{inicial}, T_{final}\}$. La función $f(T)$ es definida positiva y tiene un límite superior dado por la máxima capacidad del usuario MC , tal que $f(t) \leq MC$, según se muestra en la Figura 22.

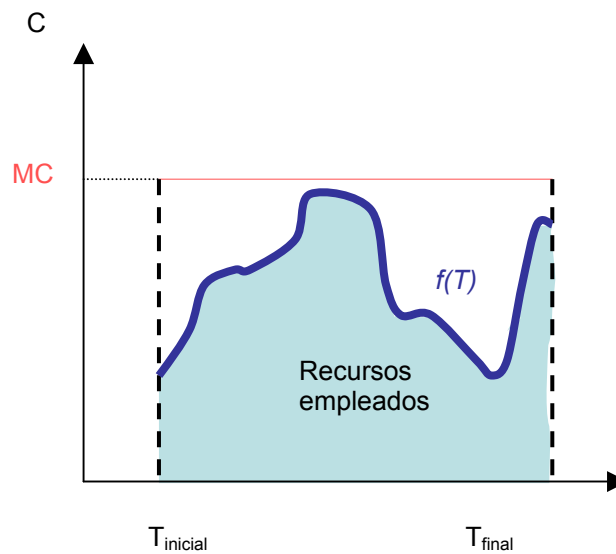


Figura 22 La carga de trabajo en función del conjunto de tareas que puede realizarse con una interfaz está limitada por la máxima capacidad del usuario.

La máxima carga de trabajo depende del usuario y de sus habilidades cognitivas. La relación entre las habilidades cognitivas del usuario y sus prestaciones puede ampliarse en [Kanfer y Ackerman 1989].

La relación entre carga de trabajo y esfuerzo es similar a la existente entre fuerza y trabajo en dinámica, en cuanto que ambas representan el área debajo de la función $f(T)$.

De este modo la demanda total de un recurso determinado (visual, auditivo, etc.) ó el esfuerzo E que debe realizar un usuario en la ejecución de una tarea viene dado por la Ecuación 10, siendo $f(T)$ una función que depende de la tarea y, T_0 y T_f las tareas inicial y final respectivamente.

$$E = \int_{T_f}^{T_0} f(T) dT$$

Ecuación 10 El esfuerzo o demanda de recursos representa el área bajo la función carga de trabajo.

Teniendo en cuenta que para todas las tareas que pueden realizarse con la interfaz, la demanda de recursos en el usuario debe ser en todo momento inferior a su máxima capacidad cognitiva entonces se puede escribir:

$$\forall T, |f(T)| \leq MC \Rightarrow E \leq MC \cdot (T_0 - T_f)$$

Ecuación 11 Límite superior de los recursos demandados en un conjunto de tareas

La Ecuación 11 permite conocer, de forma predictiva, si el usuario estará sobrecargado en la interacción con la interfaz en el desempeño del conjunto de tareas.

Para determinar el esfuerzo de un usuario al realizar una determinada tarea T en todos sus recursos cognitivos se debe tener en cuenta la trayectoria seguida en el empleo de los recursos cognitivos, o de otro modo, el plan elegido por el usuario para desempeñar las tareas. En la interfaz de un SNA, la trayectoria es única y conocida de antemano por el usuario. De este modo la Ecuación 10 pasa a ser

$$E = \oint f(T) dr$$

Ecuación 12 Demanda de recursos en función de la trayectoria

siendo $f(T) = f(t, h_c)$ la función que establece la dependencia de la ejecución de una tarea con las habilidades cognitivas h_c del usuario y el tiempo t de uso de la interfaz. No obstante, para la interfaz de un SNA la Ecuación 12 no es aplicable ya que en un sistema crítico no es admisible la presencia de modos, debiendo existir una única trayectoria para realizar una tarea T .

Pero también ha de tenerse en cuenta la influencia de la calidad (manifestada en IHC en la usabilidad) en el uso de la interfaz. La **calidad** se verá reflejada en el número de errores cometidos al interactuar con la interfaz del sistema crítico y en el tiempo necesario para realizar satisfactoriamente las tareas; o de otro modo, eficiencia y eficacia. Un aumento de la calidad q , precisa de un mayor esfuerzo o un mayor período de tiempo para realizar la misma tarea con una determinada interfaz. La calidad es entonces una función del esfuerzo del usuario (plasmado en la atención prestada a la tarea) y del tiempo t de uso de la interfaz (incluido el tiempo de entrenamiento). Esta relación puede escribirse como $q = q(E, t)$, y la variación de la calidad en función del esfuerzo y del tiempo vendrá dada por la Ecuación 13:

$$dq = \left(\frac{\partial q}{\partial E} \right)_t dE + \left(\frac{\partial q}{\partial t} \right)_E dt$$

Ecuación 13 Variación de la usabilidad en función de los recursos demandados y del tiempo empleado

Tomando la Ecuación 13 y derivando respecto a las habilidades cognitivas del usuario podemos obtener la variación de la calidad de la interacción con respecto al perfil cognoscitivo de los usuarios:

$$\frac{dq}{dhc} = \left(\frac{\partial q}{\partial E} \right)_t \frac{dE}{dhc} + \left(\frac{\partial q}{\partial t} \right)_E \frac{dt}{dhc}$$

Ecuación 14 Variación de la usabilidad en función de las habilidades cognitivas del usuario

Además se puede afirmar que, para un mismo período de tiempo en la realización de una tarea, la calidad aumenta si aumenta el esfuerzo del usuario en la interacción con la interfaz:

$$\left(\frac{\partial q}{\partial E} \right)_t \geq 0$$

Ecuación 15 Variación de la calidad de interacción con la demanda de recursos

Aplicando la relación de Maxwell (véase la Ecuación 17) a la Ecuación 14, y teniendo en cuenta la Ecuación 13 se obtiene la Ecuación 16, en la que se muestra que la calidad aumenta con el esfuerzo y con el tiempo de entrenamiento, pero el esfuerzo decrece con el entrenamiento.

$$\frac{\left(\frac{\partial q}{\partial E} \right)_t \left(\frac{\partial E}{\partial t} \right)_q}{\left(\frac{\partial q}{\partial t} \right)_E} = -1$$

Ecuación 16 La calidad aumenta al aumentar los recursos y el tiempo de uso, a la vez que los recursos demandados disminuyen con el tiempo de uso de la interfaz

$$q = q(E, t)$$

$$E = E(q, t)$$

$$t = t(E, Q)$$

hc = habilidad s cognitivas del usuario

$$\left(\frac{\partial q}{\partial E} \right)_t \left(\frac{\partial t}{\partial q} \right)_E \left(\frac{\partial E}{\partial t} \right)_q = -1$$

Ecuación 17 Relación de Maxwell para la calidad de uso, el esfuerzo y el tiempo

Del mismo modo (véase la Ecuación 18), para un mismo nivel de esfuerzo, el tiempo dedicado para la realización de una tarea aumentará si queremos que aumente la calidad:

$$\left(\frac{\partial t}{\partial q} \right)_E \geq 0$$

Ecuación 18 Un aumento de la calidad de interacción precisa un aumento del tiempo de interacción con la misma demanda de recursos

Y para un mismo nivel de calidad, el esfuerzo disminuye si aumenta el período de tiempo dedicado a la realización de la tarea:

$$\left(\frac{\partial E}{\partial t} \right)_q \leq 0$$

Ecuación 19 Los recursos demandados disminuyen al aumentar el tiempo de interacción

Todas las relaciones anteriores permiten conocer la tendencia de la sobrecarga en el usuario al desempeñar una misma tarea , pero variando el contexto o el tiempo de interacción. Así se posibilita comparar de forma realtiva varias alternativas del mismo diseño, sin necesidad de conocer de forma absoluta los valores de la evaluación.

Gráficamente (véase la Figura 23), la relación entre calidad y habilidades cognitivas del usuario siempre tiende a un máximo dependiendo de su máxima capacidad Mq ; el máximo nivel calidad se consigue con un menor nivel de habilidades cognitivas cuanto mayor sea el esfuerzo E que le dedique, tal y como se muestra en la Ecuación 18.

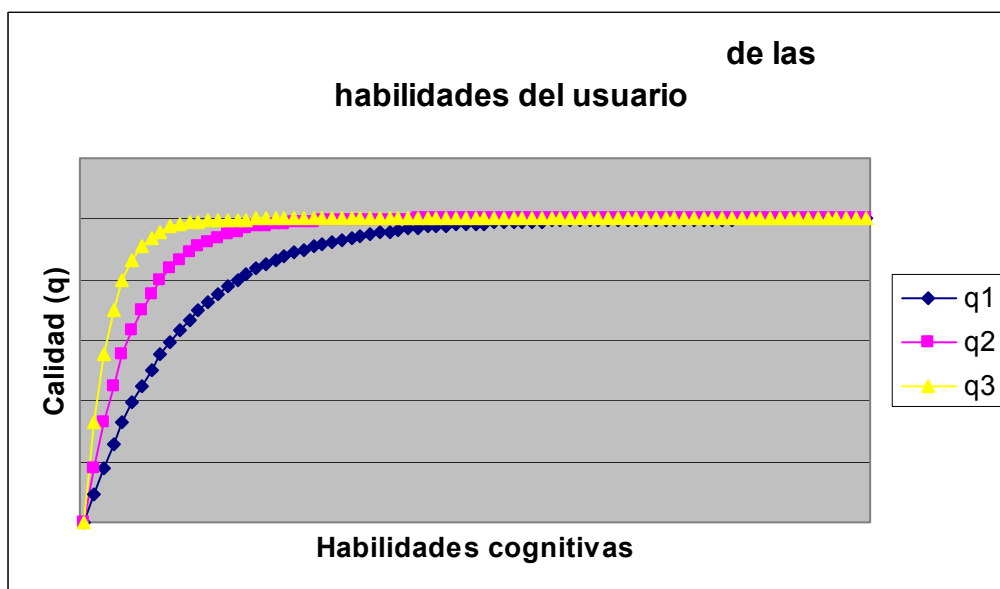


Figura 23 Relación entre calidad de uso y habilidades cognitivas del usuario

En la Figura 23 puede observarse como la curva correspondiente al nivel de calidad q1 exige menos esfuerzo que el resto de niveles de calidad ($q1 < q2 < q3$) y

se exigen mayores mayores habilidades cognitivas en el usuario para obtener el máximo nivel de calidad posible M_q .

La función recogida en la Figura 23 es monótona [Wickens 1999] creciente y alcanza un límite máximo de calidad M_q para cada usuario, aunque aumente de forma ilimitada el esfuerzo del usuario al interfaccionar con la interfaz.

En la mayor parte de los casos, la sobrecarga no depende del total de información y de la respuesta necesaria, sino de la "calidad" [De Montmollin 1984]

Matemáticamente, se modela con una función de distribución de Boltzman de la forma $exp(-KT)$ (ver Ecuación 20) similar a las curvas características de un diodo correspondiéndose el límite de calidad máxima al estado de saturación del diodo. En este caso la constante K , que representa las propiedades del material empleado en la unión p-n, se correspondería con una función en que intervienen las habilidades cognitivas (hc) propias de cada usuario y el nivel del esfuerzo que el usuario dedica en la interacción con la interfaz del SNA. Las habilidades cognitivas del usuario hc es constante para cada usuario en un determinado período de tiempo.

$$q = M_q (1 - e^{-kt})$$

$$k = k(\text{esfuerzo}, \text{habilidades cognitivas de la persona})$$

$$k = k(hc, E) \quad hc = cte(t).$$

Ecuación 20 Modelización de la usabilidad en un SNA

De forma simplificada se adopta el siguiente criterio para el **desempaquetado** de las habilidades cognitivas considerándose únicamente cinco valores discretos:

- (1) Usuarios con habilidades cognitivas **muy inferiores** a la media de los usuarios apropiados para el control del sistema crítico.
Corresponde a los usuarios que o bien cometen más del 50% de errores en las tareas a realizar o bien no consiguen realizar satisfactoriamente el 50% de las mismas.
- (2) Usuarios con habilidades cognitivas **inferiores** a la media de los usuarios apropiados para el control del sistema crítico.
Corresponde a los usuarios que o bien cometen más del 25% de errores en las tareas a realizar o bien no consiguen realizar satisfactoriamente el 25% de las mismas.
- (3) Usuarios con habilidades cognitivas correspondientes iguales a la **media** de los usuarios apropiados para el control del sistema crítico.
Corresponde a los usuarios que no cometen ningún error en las tareas a realizar y consiguen realizar satisfactoriamente el 100% de las tareas.
- (4) Usuarios habilidades cognitivas **superiores** a la media de los usuarios apropiados para el control del sistema crítico.
Corresponde a los usuarios que no cometen ningún error en las tareas a realizar y consiguen realizar satisfactoriamente el 100% de las tareas un 5% más rápido o con un 5% menos de operaciones que los usuarios de la categoría anterior.
- (5) Usuarios habilidades cognitivas **muy superiores** a la media de los usuarios apropiados para el control del sistema crítico.
Corresponde a los usuarios que no cometen ningún error en las tareas a realizar y consiguen realizar satisfactoriamente el 100% de las tareas un 10% más rápido o con un 10% menos de operaciones que los usuarios de la categoría (3).

En la Ecuación 20 el entrenamiento actúa como elemento multiplicador de las habilidades cognitivas de un usuario y le permite pasar de un cierto nivel a otro

superior, o continuando con el símil del diodo como el material dopante **K** de la unión p-n. Se establece el siguiente desempaquetado para

$$K = K(h, E)$$

$$K = \begin{cases} k_0 & K=0 \text{ el usuario no se esfuerza o carece de habilidades para el uso de la interfaz} \\ k_{0,5} & K=0,5 \text{ esfuerzo medio o habilidades mínimas requeridas para el uso de la interfaz} \\ k_1 & K=1 \text{ el usuario se esfuerza al máximo o tiene habilidades desarrolladas para el uso de la interfaz (posible conseguidas con el entrenamiento)} \end{cases}$$

Gráficamente la variación de calidad de la interacción (usabilidad) con el esfuerzo dedicado a la interacción con la interfaz tiene una forma similar a la mostrada en la Figura 24, en la que se puede apreciar que conseguir una mayor calidad conlleva un mayor tiempo en la realización de la tarea ($t_1 > t_0$) y que a partir de un determinado nivel de esfuerzo la calidad no aumenta. El usuario ha llegado al límite de sus habilidades cognitivas y se encuentra, al igual que un diodo, “saturado”. Ya no podrá mejorar la calidad al interactuar con la interfaz.

Variación de la calidad con el esfuerzo

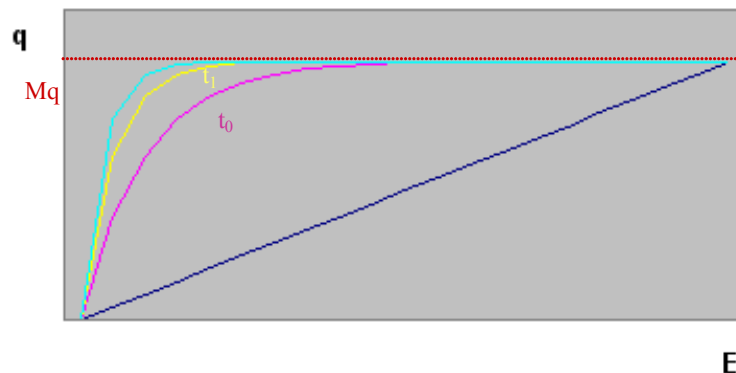


Figura 24 Variación de la usabilidad (calidad de interacción) q con el esfuerzo E

La pendiente inicial de la curva será más pronunciada en el caso de un usuario con habilidades cognitivas superiores a la media y más suave para los usuarios con habilidades cognitivas inferiores a la media.

De esta forma, si adoptamos el principio empleado en Inteligencia Artificial “**Trabaja duro para terminar antes**” [He e loerger, 2003], una mayor carga de trabajo implicaría disminuir el tiempo de ejecución de la tarea para una calidad determinada, y conseguir una mayor calidad conllevaría una mayor carga de trabajo.

Gráficamente podría modelarse según la Figura 25, en la que puede apreciarse en los puntos 1 y 2 que, con una carga de trabajo constante en el usuario, la consecución de una calidad mayor ($q_1 > q_0$) conllevaría una mayor duración en la realización de la tarea ($t_1 > t_0$). Se correspondería con una situación de monitorización implementada en el sistema de notificación. La atención del usuario

decrece y la tarea se prolonga en el tiempo, manteniendo el mismo nivel de calidad. Estamos ante un escenario de mínimo esfuerzo con una duración prolongada, correspondiente como hemos visto a una tarea de monitorización o a una tarea automatizada, como puede ser la tarea de piloto automático en el control de aviones.

Del mismo modo para una determinada duración t_1 en la ejecución de una tarea, una mejora de la calidad en la interacción con la interfaz precisaría una mayor atención por parte del usuario, y por tanto, una mayor carga de trabajo, tal y como se aprecia en los puntos 2 y 3. Son las situaciones que tendrían lugar cuando el sistema de notificación indicase que se ha producido una situación de emergencia que exige la intervención inmediata del usuario, y que éste focalize toda su atención en la información proporcionada por el sistema de notificación. Este sería el caso cuando se produciera una rotura en la cisterna durante la tarea de llenado de ésta con ácido o la desconexión del piloto automático del avión por el fallo de un motor.

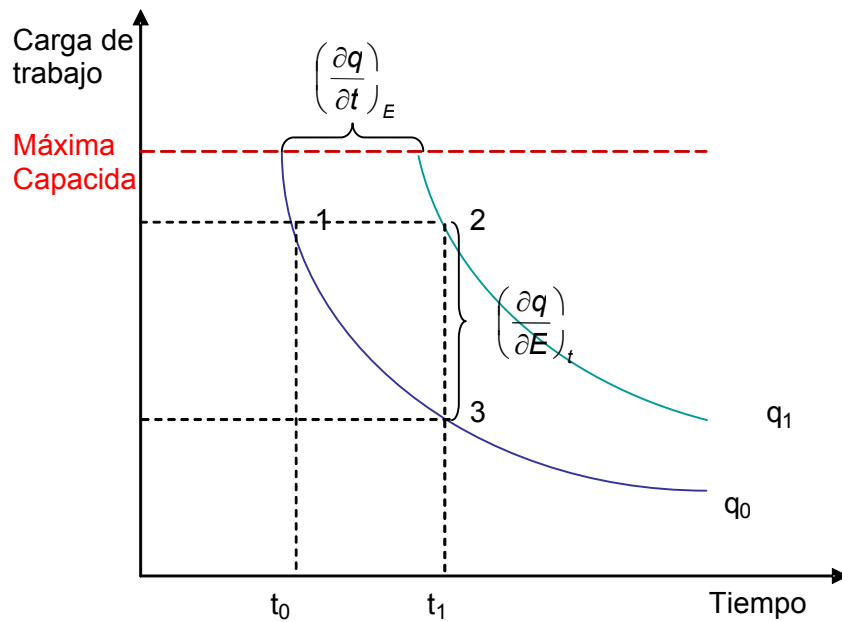


Figura 25 Adaptación del principio "Trabaja duro para acabar antes"

El marco de evaluación recoge las ecuaciones y gráficos descritos en esta sección, mostrándose a continuación un extracto de la evaluación del A400M correspondiente al nivel de carga de trabajo y a la estimación del tiempo de aprendizaje:

Carga de trabajo : 56.90 %

La Carga de trabajo puede reducirse, como máximo, hasta 46,78%.

Tiempo estimado de entrenamiento para un piloto inexperto y no familiarizado con la interfaz 21.80 horas

Tiempo estimado de entrenamiento para un piloto inexperto y familiarizado con la interfaz 10.90 horas

Tiempo estimado de entrenamiento para un piloto experto, pero no relacionado con esta interfaz 7.27 horas

Tiempo estimado de entrenamiento para un piloto experto y familiarizado con esta interfaz 5.45 horas

4.3.2.2. Determinar si el usuario está sobrecargado.

Una vez conocida la carga de trabajo de un usuario al realizar una tarea, es necesario conocer la carga de trabajo que le supone al usuario la realización de todas las tareas que debe realizar en paralelo. Para ello se deben distinguir dos situaciones principales:

- (1) El número de **tareas** es fijo y permanece **constante** durante la interacción del usuario con la interfaz.
Correspondería al escenario de interacción normal con la interfaz sin situaciones anormales, en el que no se produce ningún evento extraordinario que produzca un modo de operación anormal, de modo que la actividad del sistema de notificación es nula.
En este caso, los usuarios no deben variar su comportamiento puesto no se produce ningún evento extraordinario.
- (2) El número de tareas varía de forma **dinámica**.
Corresponde a un escenario en el que el sistema de notificación requiere la atención del usuario porque se han producido eventos extraordinarios. Por ejemplo, en una aplicación de sobremesa para una secretaria, el sistema de notificación le avisa de la próxima de la hora de comienzo de las citas del día y de los mensajes recibidos en su correo electrónico, o en un avión el sistema de notificación informa a los pilotos de fallos en los sistema a través de avisos sonoros, luces parpadeantes y mensajes en las pantallas de datos principales. La atención que el usuario debe prestar al sistema de notificación se convierte en este caso en la tarea principal, imprescindible para el control del sistema crítico.
En este caso, los usuarios deben variar su comportamiento y aumentar o disminuir los tiempos dedicados a cada tarea dependiendo de los eventos notificados.

En el primer caso, el marco de evaluación debe comprobar que existe, al menos un plan P con la secuencia de tareas T en paralelo para un determinado conjunto de tareas necesarias para controlar el sistema crítico más la tarea t_N de monitorización correspondiente al sistema de notificación (véase la Ecuación 21), con unos determinados requisitos de calidad mínima $Q = \{q_i, \dots, q_n, q_N\}$ y con unos tiempos de ejecución dados para cada tarea t_i por la tupla (c_i, d_i) , en la que c_i representa el instante en el que debe comenzar la tarea y d_i la duración de la tarea i .

$$T = \{t_1 \dots t_n\} \cup t_N$$

Ecuación 21 El conjunto de tareas t_N correspondiente a un SNA debe desempeñarse en paralelo a las tareas del sistema principal t_i

Para cada una de las tareas la carga de trabajo o demanda de recursos C_i viene dada por la Ecuación 9 y el esfuerzo que debe realizar el usuario para cada una de las tareas viene dado por la Ecuación 10 y se cumple Ecuación 22 para el plan P formado por una secuencia de tareas tal que $\{(t_{oi}, t_{fi}), \dots, (t_{on}, t_{fn}), (t_{oN}, t_{fN})\} / t_{oi} \geq C_i, t_{fi} \leq d_i \forall i, 1 \leq i \leq n$.

$$\sum_1^n C_i \leq MC$$

Ecuación 22 La demanda total tiene como límite superior

la máxima capacidad del usuario

En el segundo caso, la evaluación debe comprobar que existe un nuevo plan P (al menos uno) con la secuencia de tareas T correspondiente al conjunto formado por las tareas necesarias para controlar el sistema crítico más la tarea t_N de monitorización correspondiente al sistema de notificación, más las nuevas tareas derivadas del evento notificado, que se producen en el instante t_0 ; todas estas tareas deben ser ejecutadas en paralelo por el usuario

$$T = \{t_1, \dots, t_n\} \cup t_N \cup \{u_j, \dots, u_m\}$$

Además estas tareas deben ejecutarse con unos determinados requisitos de calidad mínima para evitar errores

$$Q = \{q_1, \dots, q_n, q_N, q'_j, \dots, q'_m\}$$

y con unos tiempos de ejecución dados para cada tarea t_i por la tupla (c_i, d_i) , en la que c_i representa el instante de comienzo de la tarea i , y d_i su duración.

Para cada una de las tareas, la carga de trabajo o demanda de recursos C_i viene dada por la Ecuación 9; el esfuerzo que debe realizar el usuario para desempeñar cada una de las tareas viene dado por la Ecuación 10, y además, para las $n+m$ tareas, se cumple la Ecuación 23 para las capacidades necesarias para ejecutar el conjunto de tareas T .

$$\sum_1^{n+m} C_i \leq MC$$

Ecuación 23 Límite superior de la carga de trabajo

El piloto debe ejecutar un nuevo plan P formado por la secuencia de tareas de control del sistema crítico, la tarea de notificación y las tareas derivadas del sistema de notificación; cada una de las n tareas de control comienza en los instantes de tiempo t_{oi} y finalizan antes del instante t_{fi} , respectivamente sucede para la tarea de notificación t_N y las u_{oj} tareas derivadas del evento que produjo la notificación.

$$\begin{aligned} & \{(t_{oi}, t_{fi}), \dots, (t_{on}, t_{fn}), (t_{oN}, t_{fN}), (u_{oi}, u_{fi}), \dots, (u_{oj}, u_{fj}), (u_{om}, u_{fm})\} \\ & / t_{oi} \geq c_i, t_{fi} \leq d_i \forall i, 1 \leq i \leq n \\ & u_{oj} \geq c_j, u_{fj} \leq d_j \forall j, 1 \leq j \leq m \end{aligned}$$

En el contexto del plan P puede ser admisible, dependiendo de cada caso particular, interrumpir o retrasar un subconjunto $S \subset T$ de las tareas que debe realizar el usuario en el instante t_0 hasta que se finaliza con la ejecución de las tareas nuevas para responder a la notificación de un determinado evento.

Este resultado debe generalizarse para cualquier tarea derivada de una nueva notificación.

No se puede evaluar de forma predictiva el mínimo coste de la notificación según se definió en Ecuación 1 porque no se evalúa el sistema de control que ocupa la tarea primaria del usuario.

Si se incluye de forma global toda la interfaz de control y de su correspondiente SNA se puede aplicar la fórmula de [Hortvitz y Apacible, 2003] mejorada (véase Ecuación 24) en este marco de evaluación para calcular el coste de la notificación basándose en el coste mínimo de la interrupción (CMI):

$$CMI = \sum_j p(A_j | E) \sum_i u(D_i, A_j)$$

$A_j \equiv$ estado de atención $D_i \equiv$ int interrupción

Ecuación 24 Fórmula mejorada del coste mínimo de la interrupción

Siendo $p(A_i | E)$ la probabilidad condicionada de que el usuario se encuentre en el estado de atención A_i al realizar una tarea primaria cuando se produce un evento E y se vea interrumpido por D_i .

A continuación se reproduce un extracto de la evaluación de la interfaz del A400M relativa al comportamiento estático:

Usuario PILOTO : experto, pero no relacionado con esta interfaz

Carga de trabajo estimada en el contexto BASICO:	56.90%
Carga de trabajo estimada en el contexto SALVAMENTO_Y_RESCATE:	56.90%
Carga de trabajo estimada en el contexto ATERRIZAJE_EN_COMBATE:	113.80%
Carga de trabajo estimada en el contexto VUELO_EN_FORMACION:	56.90%
Carga de trabajo estimada en el contexto MALAS_CONDICIONES_METEREOLOGICAS:	56.90%
Carga de trabajo estimada en el contexto VUELO_NOCTURNO:	56.90%
Carga de trabajo estimada en el contexto EQUIPAMIENTO_DE_LA_TRIPULACION:	56.90%
Carga de trabajo estimada en el contexto SITUACIONES_TACTICAS:	56.90%
Carga de trabajo estimada en el contexto TANKER:	85.35%
Carga de trabajo estimada en el contexto CONFIGURACION_DE_AVION:	0.00%
Carga de trabajo estimada en el contexto FALLOS_DEL_SISTEMA:	85.35%

Usuario COPILOTO : experto y familiarizado con esta interfaz

Carga de trabajo estimada en el contexto BASICO:	59.89%
Carga de trabajo estimada en el contexto SALVAMENTO_Y_RESCATE:	59.89%
Carga de trabajo estimada en el contexto ATERRIZAJE_EN_COMBATE:	119.79%
Carga de trabajo estimada en el contexto VUELO_EN_FORMACION:	59.89%
Carga de trabajo estimada en el contexto MALAS_CONDICIONES_METEREOLOGICAS:	59.89%
Carga de trabajo estimada en el contexto VUELO_NOCTURNO:	59.89%
Carga de trabajo estimada en el contexto EQUIPAMIENTO_DE_LA_TRIPULACION:	59.89%
Carga de trabajo estimada en el contexto SITUACIONES_TACTICAS:	59.89%
Carga de trabajo estimada en el contexto TANKER:	89.84%
Carga de trabajo estimada en el contexto CONFIGURACION_DE_AVION:	0.00%
Carga de trabajo estimada en el contexto FALLOS_DEL_SISTEMA:	89.84%

Usuario TERCER_TRIPULANTE : no clasificado

Carga de trabajo estimada en el contexto BASICO: 75.87%
 Carga de trabajo estimada en el contexto
 SALVAMENTO_Y_RESCATE: 75.87%
 Carga de trabajo estimada en el contexto
 ATERRIZAJE_EN_COMBATE: 151.73%
 Carga de trabajo estimada en el contexto
 VUELO_EN_FORMACION: 75.87%
 Carga de trabajo estimada en el contexto
 MALAS_CONDICIONES_METEREOLÓGICAS: 75.87%
 Carga de trabajo estimada en el contexto VUELO_NOCTURNO:
 75.87%
 Carga de trabajo estimada en el contexto
 EQUIPAMIENTO_DE_LA_TRIPULACION: 75.87%
 Carga de trabajo estimada en el contexto
 SITUACIONES_TACTICAS: 75.87%
 Carga de trabajo estimada en el contexto TANKER: 113.80%
 Carga de trabajo estimada en el contexto
 CONFIGURACION_DE_AVION: 0.00%
 Carga de trabajo estimada en el contexto
 FALLOS_DEL_SISTEMA: 113.80%

4.3.2.3. Detectar las causas de interferencia entre tareas.

No solamente el marco de evaluación indica en qué falla la evaluación de la interfaz de acuerdo con los estándares y heurísticas aplicables, sino que también proporciona datos acerca del **origen** de los fallos. Para detectar las causas que producen la sobrecarga es necesario detectar la **interferencia** entre las tareas del sistema de control y la interfaz del SNA. La detección de interferencia entre tareas está basada en una tabla compuesta por coeficiente que indica el grado de colisión entre los distintos recursos del usuario cuando realiza dos tareas al mismo tiempo que de demandan el mismo o distintos recursos. El evaluador ajusta cuantitativamente, basado en las heurísticas, la interferencia entre las dimensiones del modelo 4-D de Recursos Múltiples [Wickens 2002] según el relleno de las 'tablas de interferencia' (véase la Tabla 10) inspiradas (y corregidas en esta tesis) en las 'matrices de conflicto' para cada par de tareas.

Los valores de cada una de las celdas de la tabla de interferencias se tienen un valor normalizado comprendido en el rango [0,1] y se calculan según los siguientes criterios:

- 1) Cada canal tiene un valor inicial de interferencia de 0.2 como '**coste de concurrencia**' semejante al consumo de CPU por el procesamiento requerido por el planificador de tareas y el cambio de contexto en un sistema de tiempo compartido [Navon y Gopher 1979; Rogers y Monsell 1995].
- 2) Las dimensiones verbal-fonética y visual-espacial funcionan de modo **cooperativo** y no en modo competitivo [Baddeley 1995; Liu y Wickens 1992; Bandbury y Berry 1998]
- 3) Cada dimensión con **solapamiento** de recursos entre tareas incrementa otro 0.2 el valor de la interferencia [Wickens 2002].
- 4) Puesto que los procesos cognitivos no implican la distinción auditivo-visual (A-V) su interferencia con los recursos necesarios para la percepción se estima como la media de los valores cuando los recursos están compartidos y cuando no lo están [Wickens 2002].
- 5) Los valores de la **diagonal** (empleo de la misma dimensión) serán más elevados que cualquier otro par de valores [Wickens 2002]

- 6) Una **respuesta verbal** no puede simultanearse con otra respuesta verbal. Su incompatibilidad producirá un valor de interferencia que será el más elevado, e igual al máximo, 1.0 [Wickens 2002].
- 7) Los valores finales dependen de cada situación en particular y están **ponderadas** por un peso p_i que deben ser estimados por un experto. Entre estas situaciones se encuentran:
- Los valores de recursos compartidos visual-espacial pueden reducirse si las dos fuentes visuales se encuentran próximas entre sí y deberán aumentarse si están separadas o si precisan de la visión focal. Por ejemplo, para todas las notificaciones producidas en las zonas del mismo color mostradas en la Figura 7, podrían influir en la Tabla 10 de modo que los pares (VSF, VSF) puedan reducir su valor.
 - Si una de las tareas está automatizada de modo se precisan menos recursos en la ejecución de esta tarea y se puede reducir el coeficiente de interferencia correspondiente en un cantidad que depende de las habilidades de los usuarios.
 - Los fenómenos que monopolizan los recursos del usuario, conocidos de forma general como **adelanto** (*'preemption'*) y **compromiso** (*'engagement'*). En estos casos una tarea monopoliza la atención del usuario y se pierden los beneficios de simultanearla con otras tareas que utilicen recursos separados. Un ejemplo de esta situación se produce al atender una llamada telefónica con un teléfono móvil mientras se conduce: los usuarios centran su atención en la conversación telefónica, descuidando las tareas de conducción, a pesar de la separación de los recursos necesarios en ambas tareas. [Strayer y Johnston 2002]. Como consecuencia de esta monopolización, los valores de interferencia se aproximan a 1.0 independientemente de los pares de recursos implicados.
 - La asignación de una **prioridad** de las tareas asignada de forma consciente por el usuario. Una tarea con mayor prioridad consumirá más recursos y disminuirá la interferencia con las otras tareas, puesto que quedan menos recursos disponibles. Como consecuencia, los valores de la Tabla 10 disminuirán.

La evaluación incluida en el marco desarrollado en esta tesis doctoral verifica que, matemáticamente, se cumple la Ecuación 25 y la Ecuación 26 para todos los pares de tareas que puede realizar un usuario con la interfaz:

1. Para todo par de tareas incluidas en el conjunto de las tareas que se pueden desempeñar con la interfaz, existe un coeficiente disjuntivo normalizado y con un valor próximo a cero.

$$\forall t_i \in T / T = \{ \text{conjunto de todas las tareas} \} \exists W = \{ w_i \} \\ / i \in N \quad 1 \leq i \leq 10 \quad w_i \in [0,1]$$

$$w_i \cap w_j \approx 0 \quad 1 \leq i \leq 10 \quad 1 \leq j \leq 10$$

Ecuación 25 Los coeficientes de interferencia son disjuntos

siendo W un vector que caracteriza una tarea según el modelo 4-D de Wickens [Wickens 2002] y w_i los valores discretos de cada una de las dimensiones según aparecen en la Tabla 10,

2. La suma total de todos los coeficientes de interferencia ponderados, y extendidos a todas las tareas, no puede superar el número total de coeficientes multiplicado por el número de tareas que pueden interferir entre sí :

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{10} p_{ij} w_{ij} \leq 1.0 \times N \times 10$$

Ecuación 26 Los coeficientes ponderados son siempre menores que 1

siendo $p_{ij} \in [0, 1.0]$ un peso corrector que depende de cada situación en concreto, $N = \text{card}(T)$ el número de tareas y w_{ij} los coeficientes de interferencia de la Tabla 10 determinados heurísticamente.

A continuación se reproduce un extracto de la evaluación de la interfaz del A400M:

```

Evaluando interferencias en el componente: SINÓPTICO...
Evaluando interferencias en el componente:
INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO...
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente
INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO interfiere con la tarea
MONITORIZACIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente
INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO interfiere con la tarea
RECONOCIMIENTO del componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente
INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO interfiere con la tarea
COMPRENSIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente
INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO interfiere con la tarea
ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente
VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente
INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO interfiere con la tarea CONTROL
del componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente
INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO interfiere con la tarea
MONITORIZACIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente
INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO interfiere con la tarea
RECONOCIMIENTO del componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO
..... Los patrones: INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO y
VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO deben situarse en la misma
zona de la interfaz
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente
INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO interfiere con la tarea
COMPRENSIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO
..... Los patrones: INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO y
VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO deben situarse en la misma
zona de la interfaz
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente
INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO interfiere con la tarea
ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente
VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO
    
```

			Tarea n										
			Perceptual						Cognitivo		Respuesta		
			Visual				Auditivo		CS(w ₇)	CV(w ₈)	RS(w ₉)	RV(w ₁₀)	
			VSF(w ₁)	VVF(w ₂)	VSA(w ₃)	VVA(w ₄)	AS(w ₅)	AV(w ₆)					
Tarea n+1	Perceptual	Visual	VSF(w ₁)	0.8	0.8	0.6	0.4	0.6	0.4	0.7	0.5	0.6	0.2
			VVF(w ₂)	0.8	1.0	0.6	0.6	0.4	0.6	0.5	0.7	0.4	0.2
			VSA(w ₃)	0.6	0.6	0.4	0.6	0.6	0.4	0.7	0.5	0.4	0.2
			VVA(w ₄)	0.4	0.6	0.6	1.0	0.8	0.6	0.3	0.7	0.2	0.4
	Auditivo	AS(w ₅)	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.4	0.7	0.5	0.4	0.2	
		AV(w ₆)	0.4	0.6	0.4	0.6	0.4	0.8	0.5	0.7	0.2	0.4	
	Cognitivo	CS(w ₇)	0.7	0.5	0.7	0.3	0.7	0.5	0.8	0.6	0.6	0.4	
		CV(w ₈)	0.5	0.7	0.5	0.7	0.5	0.7	0.6	0.8	0.4	0.6	
	Respuesta	RS(w ₉)	0.6	0.4	0.4	0.2	0.4	0.2	0.6	0.4	0.8	0.6	
		RV(w ₁₀)	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4	0.4	0.6	0.6	1.0	

Tabla 10 Tabla de interferencia

A y V en la primera posición = Auditivo y Visual. V y S en la segunda posición = Verbal y eSpacial. F y A en la tercera posición = Focal y Ambiental. C = Cognitivo. R = Respuesta.

4.3.3. Parámetro 3: Comportamientos modales, múltiples opciones y hábitos.

En esta sección se describen las relaciones matemáticas incluidas en el modelo predictivo y relacionadas con el parámetro 3: Comportamientos modales, múltiples opciones y hábitos.

Además de que el modelo de carga de trabajo no puede ser lineal, tal y como se vio en la sección 4.3.2, también se puede comprobar fácilmente que un ser humano no se encuentra **siempre sobrecargado** por cientos (o miles de datos), sino que la carga de trabajo se va reduciendo progresivamente al desarrollar hábitos que le permiten automatizar las tareas y pasar de una situación de sobrecarga a una situación de infra-carga, tal y como describe [Amalberti 1989] al referirse a la evolución de un conductor que realiza siempre el mismo itinerario desde su casa al puesto de trabajo y vuelta, desde su primer día hasta el día que sufre un accidente seis meses después debido a una rutina excesiva en el desempeño de la misma tarea. La misma tarea que el primer día suponía una gran carga de trabajo y exigía una gran demanda de recursos, fue disminuyendo la demanda de recursos y mejorando las prestaciones del conductor, de modo que supone una carga de trabajo casi despreciable que puede conducir a un accidente por producir somnolencia o por infra-carga de trabajo.

Del mismo modo el usuario del SNA puede sentir que, al principio, la carga de trabajo inicial es excesiva, y que puede poner en peligro el desempeño de la tarea principal. Esta carga de trabajo irá disminuyendo con el entrenamiento, pudiendo producirse el caso extremo de desarrollar un hábito que rechace las notificaciones de forma automática, sin prestarles la menor atención.

Ser un experto supone haber desarrollado automatismos a nivel cognitivo que reducen la carga de trabajo ya que la misma tarea precisa de menos recursos. Referido a un SNA conlleva saber qué notificaciones pueden rechazarse directamente (por fallo del sistema o un mal diseño), del mismo modo que un árbitro de fútbol americano experto sabe donde dirigir su atención [Walter y Fisk 1995] o cómo un radiólogo experto busca un tumor en una placa de rayos X, a diferencia de un radiólogo inexperto [Kindell y La Follete 1972].

De otro lado, tener múltiples opciones para realizar la misma tarea puede desplazar nuestro lugar de atención de la tarea que debemos realizar a la selección del método para llevar a cabo la tarea [Raskin 2000]. Cuando se realiza una tarea repetidamente se convierte en habitual y se puede realizar de forma inconsciente, sin tener que pensar en ella [Lewis 1974]. El ser humano desarrolla hábitos de forma inevitable y el uso continuado de una interfaz hará que se desarrollen hábitos. Para evaluar un buen desarrollo de los hábitos de los usuarios se debe incluir en el marco de evaluación:

1. La tendencia innecesaria de los diseñadores de proporcionar muchas formas de realizar las mismas tareas que **desplazarán** la atención del usuario desde la tarea primaria a la tarea de elección del método para llevar a cabo la tarea.
2. Evitar que la interfaz incluya modos y comportamientos modales. No hay un acuerdo unánime sobre que es un modo [Jonson y Englebeck 1999]. En este documento se seguirá la definición proporcionada por Raskin [Raskin 2000] según la cual un *modo* de una interfaz viene dado por la interpretación constante de una secuencia de acciones realizadas por un humano totalmente automáticas una vez iniciadas ("*gesture*"). Según el marco de evaluación propuesto se trata de comprobar que no existen relaciones **suprayectivas** entre la colección de acciones y el resultado que producen al interaccionar a través de la interfaz. Todas las relaciones existentes entre acciones y resultados deben ser biunívocas y un mismo elemento de la interfaz siempre debe producir la misma acción.
3. Evitar que la interfaz pueda ser cambiada por cada usuario para adaptarla a sus preferencias puesto que las ventajas de la **particularización** de una interfaz para un determinado usuario no están demostradas y, por otro lado, "una interfaz que

optimiza la productividad no es necesariamente una interfaz que optimiza las puntuaciones subjetivas” [Tullis 1983]). De esta forma se evitará la inducción a errores y el aumento del tiempo necesario en ejecutar una tarea por otros usuarios de la interfaz, pero adaptada a las preferencias de un usuario particular. Por ejemplo en un automóvil es posible variar la posición de los asientos y del volante de la dirección, pero no es posible configurar los mandos que posibilitan la conducción. Imaginemos que sucedería si los usuarios de ambulancias pudieran configurar según sus preferencias los pedales del embrague, freno y acelerador, o refiriéndonos al sistema de notificación si pudiera configurar los testigos de las luces o la disposición del tacómetro.

4. Ningún entrenamiento puede impedir que el ser humano desarrolle hábitos [Raskin 2000]. En el caso anterior del conductor de ambulancias que ha cambiado la configuración de los pedales, acabará sufriendo un accidente aunque hubiese un aviso que de forma permanente le recordase que el freno ya no se maneja con el pie derecho. El hábito no puede romperse de forma inmediata con un acto de voluntad. Los hábitos que la interfaz de notificación debe permitir y facilitar son aquellos que no penalicen la ejecución de las tareas primarias y desarrollar un adecuado tratamiento de los mensajes de notificación. Por ejemplo, el sistema de notificación no debería permitir el hábito de **reconocer automáticamente** cualquier aviso independientemente de su importancia.

La situación ideal de un sistema de notificación integrado en sistemas críticos tendría lugar cuando al ser evaluado con la técnica GOMS, la ‘S’ final correspondiente a las reglas de selección no fuese aplicable porque sólo existe una forma de alcanzar un objetivo, de modo que el usuario no emplee recursos sin decidir qué regla debe seleccionarse. Es equivalente a demostrar que la secuencia de tareas del plan P es única porque cumple una relación de orden.

El marco de evaluación debe confirmar que no se incluyen mecanismos para facilitar el acceso a la información. Estos mecanismos se plasman en combinaciones de teclas, atajos o dispositivos dedicados. Si existen tales mecanismos existe una alta probabilidad de la presencia de modos [Raskin 2000].

El marco de evaluación debe comprobar que sólo existe un único modo de recibir las notificaciones y un único modo de reaccionar a ellas. El resultado de la evaluación es SÍ/NO. A continuación se reproduce un extracto de la evaluación predictiva aplicada a la interfaz del A400M:

Componente SINÓPTICO

Evaluación de modos correcta

Componente INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO

Evaluación de modos correcta

Componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO

Evaluación de modos correcta

Componente ETIQUETA_TQ

Evaluación de modos correcta

Componente LECTURA_DIGITAL incluye modos que deben ser eliminados

Componente AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ

Evaluación de modos correcta

Componente DIAL_5_POSICIONES

Evaluación de modos correcta

Componente SECTOR_GRIS

4.3.4. Parámetro 4: Contexto y Situaciones anormales.

En esta sección se describen las relaciones matemáticas incluidas en el modelo predictivo y relacionadas con el parámetro 4: Contexto y Situaciones anormales. La mayor parte de estas relaciones matemáticas y algoritmos proceden del **principio de inhibición** y la **asignación de prioridades** a las notificaciones.

La notificación puede producirse en situaciones críticas y degradadas, en las que el usuario está sometido a mucha tensión. Cuando se produce una situación anormal, es imprescindible que la interfaz del sistema de control, y en particular la interfaz del SNA, proporcione la información necesaria para mantener una **representación mental actualizada** del sistema [Wickens y Hollands 2000].

En estas situaciones los usuarios están absorbidos, en menor o mayor grado, por la tarea que es su **centro de atención**. Raskin en [Raskin 2000] define el centro de atención ("*locus of attention*") como una característica, un objeto del mundo real o una idea que fija la atención del usuario y sobre la que piensa fijamente cuando el usuario está despierto y consciente. Raskin distingue entre 'centro de atención' y 'centrar la atención': "Deliberadamente podemos *centrar* nuestra atención en un determinado *centro de atención*". Centrar la atención implica una acción de voluntad, en tanto que el centro de atención no puede ser controlado totalmente de forma voluntaria. En situaciones críticas y degradadas se reduce la carga de trabajo en las tareas no urgentes y se incrementa en aquellas urgentes o que deben finalizarse rápidamente.

Cuanto mayor sea la atención, más **intenso** debe ser estímulo necesario para cambiar el centro de atención [Raskin 2000]. En aquellas situaciones en las que el estrés aumenta rápidamente, el ser humano se concentra más y más en unas pocas características de su entorno y no se presta atención a otras [Loftus 1979; Wickens 2002]. De esta forma, cuanto más crítica es la tarea, es menos probable que los usuarios adviertan mensajes de aviso.

En estas condiciones un mensaje del sistema de notificación puede que no sea atendido en absoluto por los usuarios o puede suceder, que sólo añada distracción, más confusión y más estrés, empeorando la situación y provocando errores. Imagine que le sucedería a un conductor que viaja sólo por una autopista muy concurrida en un día lluvioso y que busca en un mapa qué salida debe tomar de la autopista cuando de forma imprevista suena su teléfono móvil [Wickens 2002]. O imaginemos otra situación, en la que se produce un aviso de motor incendiado en un avión militar mientras está siendo sometido a disparos de misiles. Garrison en [Garrison 1994] describe un accidente de aviación acontecido en diciembre de 1972 en el que fallecieron 101 personas debidas al impacto con el suelo en Everglades. Los tres tripulantes estaban absortos con un fallo debido al tren de aterrizaje y, a pesar de los avisos permanentes, y por distintos medios (visuales y sonoros) no se percataron de la baja altura del avión hasta que fue demasiado tarde.

En este documento una notificación comprende cualquier información, aviso o alerta que se notifica a los usuarios en caso de necesitarse su reconocimiento de forma consciente y cualquier acción correctora, inmediata o aplazada. En un sistema crítico las notificaciones pueden producirse por:

- Fallos en cualquier componente del sistema,
- Configuraciones erróneas del sistema crítico,
- Variables de control del sistema que alcanzan un determinado valor límite, ya sea superior o inferior,
- Alarmas temporales,
- Situaciones externas que entrañen riesgo o peligro,

- Mensajes recibidos desde otros sistemas críticos en caso de estar conectado a otros sistemas.

Además el comportamiento del sistema de notificación debe ser dinámico dependiendo del contexto y debe cambiar el peso de un determinado parámetro según la situación. La evaluación debe cubrir todos los posibles cambios de escenarios y de contextos de forma dinámica. También la evaluación debe verificar que ninguna notificación de alta prioridad pueda provocar la pérdida de atención de los usuarios debido a una notificación de menor prioridad. Asimismo debe verificar que ninguna notificación de baja prioridad acapare la atención de los usuarios y no permita la notificación adecuada de un evento de más alta prioridad. Los niveles de prioridad establecidos en el marco de evaluación desarrollado en esta tesis están definidos por el autor de este trabajo en la Tabla 11 Niveles de prioridad de una notificación

Los usuarios de un sistema de notificación para sistemas críticos cuando se enfrentan a situaciones en las que están implicadas numerosas actividades (las propias del sistema de notificación y las de control del sistema crítico) deben:

- (1) evaluar cada actividad, basándose en la urgencia de la situación y en las implicaciones para la obtención del objetivo final [FAA DOT 1981],
- (2) determinar los nuevos requisitos de atención en cada actividad basándose en la dificultad de la tarea y en su experiencia [Roth y Woods 1.988] y
- (3) decidir la prioridad de cada tarea ([Loukopulos 1991]).

Por tanto, la evaluación de la interfaz del sistema de notificación de un sistema crítico exige definir, previamente, **niveles de prioridad** en la notificación basados en paradigmas de atracción de la atención del usuario que eviten que el usuario tome decisiones arriesgadas. Un ejemplo de estos niveles de prioridad predefinidos ayudarán a los usuarios a desempeñar de forma satisfactoria el control de un sistema crítico. La denominación de estas prioridades, los criterios de aplicación y los paradigmas aplicables dependerán del campo de aplicación de cada sistema crítico.

Un determinado evento puede variar su nivel de prioridad de forma dinámica dependiendo del contexto. Recuérdese por ejemplo, el caso del motor incendiado en un avión cuando está sometido al fuego de misiles, el aviso de motor incendiado en el caso de colisión inminente con otra aeronave o el combustible agotado en un automóvil en caso de reventón de rueda circulando a una velocidad elevada. En el caso del avión, la distinción se realizaría basándose en la fase de vuelo en la que se encuentre la aeronave; para el automóvil la configuración dinámica puede realizarse basándose en la velocidad a la que circule el automóvil y de las condiciones externas (activación de limpiaparabrisas en situaciones de lluvia, luces antiniebla o faros de alumbrado en circulación nocturna).

Las notificaciones deben permitir a los usuarios acceder a la información crítica tan pronto como sea posible y evitar confundir al usuario cuando las notificaciones sonoras se solapan entre sí. Se considera **solapamiento** cuando dos mensajes de voz sintética o dos sonidos repetitivos se producen en el mismo instante de tiempo o en un intervalo del orden de 100 milisegundos [ABD0200 2002]. Una situación de solapamiento disminuye la efectividad de atracción de la atención del usuario. No debe considerarse solapamiento a la transmisión de un sonido y de una voz sintética, puesto que en este caso no se producen conflictos en la disputa de los recursos del usuario al realizarse concurrentemente las tareas de percepción en el reconocimiento de voz y la tarea de percepción del sonido repetitivo [Wickens 2002]. En caso de producirse dos alertas sonoras (con sonido o con voz sintética en el mismo instante de tiempo) debe fijarse una relación de orden (véase la sección 4.8) de acuerdo con su nivel de prioridad: una notificación de nivel superior siempre interrumpe a una notificación de nivel inferior al final de la notificación auditiva del mensaje actual. En caso de producirse de forma simultánea dos notificaciones del máximo nivel la última notificación debe esperar a que finalice la transmisión del mínimo de información notificada que permita al usuario reconocer el mensaje, puesto que el ser humano tiene dificultades para asimilar y comprender una notificación ininteligible o inaudible debido a la superposición de dos voces sintéticas. Por tanto, el marco de evaluación debe verificar que la parte inteligible de un mensaje de voz (v.g.

mínimo de información) no es interrumpida por una notificación de más alta prioridad. El siguiente algoritmo debe aplicarse a la transmisión de dos notificaciones, Nt_i y Nt_{i+1} de prioridad Pr:

```

if Pr ( $Nt_i$ ) < Pr ( $Nt_{i+1}$ ) then
  if  $Nt_i \subset$  Voz then
    delay  $T_p$ ;
  end if;
  Interrumpir  $Nt_i$ ;
  Transmitir  $Nt_{i+1}$ ;

elseif Pr ( $Nt_i$ ) = Pr ( $Nt_{i+1}$ ) then
  delay min( $Nt_i$ );
  Transmitir  $Nt_{i+1}$ ;

else
  delay until  $Nt_i$ ;
  Transmitir  $Nt_{i+1}$ ;

end if;
    
```

$$\min(Nt_i) = \begin{cases} 0,5 \text{ segundos} & \text{si el mensaje es un sonido repetitivo} \\ \text{tiempo de un mensaje de voz} & \\ \text{Periodo en blanco} & \end{cases}$$

Figura 26 Solapamiento de dos notificaciones

donde T_p ('período en blanco') es el tiempo mínimo, en silencio, entre dos notificaciones consecutivas [Sánchez-Puebla 2005]. Un período en blanco debe tener un valor incluido en el rango $0 \leq T_p \leq 250$ msg para mensajes visuales, $0 \leq T_p \leq 1$ seg para mensajes auditivos y $T_p \approx 4$ seg para mensajes de texto mostrados en la pantalla, según resulta de aplicar la regla del número mágico 7 ± 2 [Miller 1956] conjuntamente con el **paradigma Brown-Petersen** [Loftus, Dark y Williams, 1979; Moray 1986].

El marco de evaluación debe verificar que las notificaciones sonoras y por voz se limitan a los eventos de máxima prioridad para reducir el tiempo de transmisión y disminuir las probabilidades de conflicto.

La interrupción brusca de una notificación audible (cuando han cesado las causas que dieron lugar a la notificación) es menos molesta para los usuarios que esperar a que termine por completo la notificación. A la vez, los recursos dedicados en la memoria de trabajo para la percepción del mensaje auditivo quedan liberados y pueden ser aprovechados para la realización de otras tareas [Wickens 2002]. En consecuencia, el marco de evaluación debe verificar que todas las notificaciones (sobre todo las sonoras, tanto en voz como por sonidos) son interrumpidas en cuanto el usuario ha tomado las acciones necesarias para corregir el evento que produjo la notificación.

El marco de evaluación debe tener en cuenta la capacidad de interrupción, reacción y comprensión según el contexto en el que los usuarios interaccionan con el sistema de notificación a fin de evitar mensajes innecesarios en situaciones anormales (que resulten catastróficas para los usuario) aún en el caso de que sean importantes, como puede suceder con la pérdida de un motor en los momentos de despegue y aterrizaje.

El marco de evaluación debe recoger los siguientes aspectos, como evaluación predictiva sin producto o como tests a los usuarios cuando el producto esté desarrollado:

Nivel de prioridad	Denominación	Contexto/Situación	Criterio en la definición de nivel	“Atractor de atención”	
				Paradigma visual	Paradigma auditivo
0	Indicaciones y memos	Información	Operaciones de control realizadas con la ayuda del sistema de notificación a través de listas de procedimientos e indicaciones	No se precisa ²³	No se precisa
1	Advertencia	Reconocimiento y monitorización	Condiciones del sistema crítico que precisan el reconocimiento de los usuarios y puede precisar alguna acción de los usuarios (v.g. parámetros que exceden su rango normal de operación).	No se precisa	No se precisa
2	Amonestación	Situación anormal	Operaciones anormales en el sistema crítico que requieren el reconocimiento inmediato por parte de los usuarios y precisa de acciones correctoras en algún momento	Color ámbar	Voz o sonido limitados a un período de tiempo (del orden de segundos)
3	Alerta	Situación de emergencia	Operaciones de emergencia en el sistema crítico que requieren el reconocimiento inmediato por parte de los usuarios y precisa de acciones correctoras inmediatas	Color rojo parpadeante	Voz o sonido permanentes y repetitivos hasta que desaparece la razón que motivó la notificación.

Tabla 11 Niveles de prioridad de una notificación

²³ No significa que no se emplee ningún medio, visual o sonoro, para comunicarse con el usuario.

Sin producto se deben cumplir los siguientes principios:

- (1) Las notificaciones de nivel máximo (según el nivel 3 correspondiente a las alertas definidas en la Tabla 11) deben notificarse en las zonas de mejor accesibilidad para los usuarios.

A continuación se muestra una parte de los resultados obtenidos en la evaluación de la interfaz del A400M:

```
Componente SINÓPTICO Criticidad'E'
Componente INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO Criticidad'B'
presenta inconsistencias entre prioridad B y accesibilidad
Componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO Criticidad'B'
presenta inconsistencias entre prioridad B y accesibilidad
Componente ETIQUETA_TQ Criticidad'E' presenta
inconsistencias entre prioridad E y accesibilidad
Componente LECTURA_DIGITAL Criticidad'B' presenta
inconsistencias entre prioridad B y accesibilidad
Componente AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ Criticidad'B' presenta
inconsistencias entre prioridad B y accesibilidad
Componente SECTOR_GRIS Criticidad'D' presenta
inconsistencias entre prioridad D y accesibilidad
Componente SECTOR_BLANCO Criticidad'D' presenta
inconsistencias entre prioridad D y accesibilidad
Componente TENDENCIA_TQ Criticidad'D' presenta
inconsistencias entre prioridad D y accesibilidad
Componente ACENTUAR_TQ Criticidad'D' presenta
inconsistencias entre prioridad D y accesibilidad
Componente DIAL_5_POSICIONES Criticidad'D' presenta
inconsistencias entre prioridad D y accesibilidad
Componente MASTER_LIGHT Criticidad'A' presenta
inconsistencias entre la prioridad (A) y la accesibilidad
```

- (2) Si una alerta se notifica a través de varios medios (v.g. audio + señales visuales) entonces la información en su conjunto debe ser consistente y simultánea. Es decir, si un tipo de señales (visuales o auditivas) no pueden ser transmitidas por un medio, entonces el otro medio de notificación (visual o auditiva) no ve retrasada la notificación. Además, las notificaciones siguen el principio de “*dark interface*” (véase la sección 4.1). Es decir, las indicaciones de alertas permanecen desactivadas hasta que se produce una alerta, iluminándose en ese momento.

Además la evaluación debe comprobar que:

- Las notificaciones están disponibles a los usuarios en un intervalo inferior a T segundos después del evento que produjo la notificación.

$$T = t_L + t_R$$

donde t_L es el tiempo debido a la **latencia** del sistema en la transmisión de la notificación en ausencia de solapamiento con otras notificaciones del mismo nivel y t_R es el tiempo empleado en la **reacción** del usuario a una determinada notificación. La evaluación debe verificar que en el peor de los casos:

- t_L es del orden de milisegundos y despreciable frente a t_R
- t_R es del orden de unos pocos segundos, inferior a 4 seg para usuarios inexpertos; este tiempo disminuye con el uso de la interfaz.

El marco de evaluación predictivo debe verificar que existe la posibilidad por parte del usuario de **inhibir** (véase la Figura 25), por medio un control dedicado, todas las notificaciones en el instante que éste decida, con el fin de asegurar que las notificaciones sólo se producen cuando son necesarias, significativas y de interés para los usuarios, y de disparar avisos manualmente que no hayan sido detectados y proporcionados por el sistema. Si se produce una inhibición, la evaluación debe asegurar que no se ha perdido ninguna notificación. En ambos casos, la evaluación debe verificar que el usuario debe recibir realimentación de cuál es el estado del sistema de notificación, ya sea éste inhibido o no.

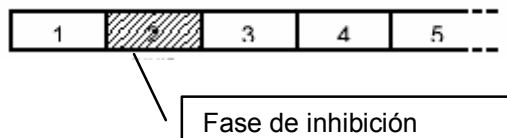


Figura 27 Principio de inhibición

Los datos cuantitativos proporcionados por la evaluación de este parámetro están basados en el algoritmo de 'Solapamiento de dos notificaciones' definido en la sección 4.3.4 y se muestran a continuación para la interfaz del SNA de la planta de potencia del A400M:

```

Componente SINÓPTICO
Notificación i-ésimo : NONE Notificación siguiente : NONE
Notificaciones enviadas 1
Interrupciones producidas 0
Notificaciones pendientes 0
Componente INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO
Notificación i-ésimo : POWER_RATING_LEGEND Notificación
siguiente : POWER_RATING_LEGEND
Notificaciones enviadas 1
Interrupciones producidas 0
Notificaciones pendientes 0
Componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO
Notificación i-ésimo : POWER_RATING_VALUE Notificación
siguiente : POWER_RATING_VALUE
Notificaciones enviadas 1
Interrupciones producidas 1
Notificaciones pendientes 1
Componente ETIQUETA_TQ
Notificación i-ésimo : NONE Notificación siguiente : NONE
Notificaciones enviadas 1
Interrupciones producidas 0
Notificaciones pendientes 0
Componente LECTURA_DIGITAL
Notificación i-ésimo : POWER_RATING_VALUE Notificación
siguiente : POWER_RATING_VALUE
Notificaciones enviadas 2
Interrupciones producidas 0
Notificaciones pendientes 0
Componente AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ
Notificación i-ésimo : TORQUE_VALUE Notificación siguiente
: TORQUE_VALUE
Notificaciones enviadas 2
Interrupciones producidas 2
Notificaciones pendientes 1
Componente SECTOR_GRIS

```

- (3) Comprobar que no existen conflicto entre los niveles de prioridad de las notificaciones sonoras.

A continuación se muestra una parte de los resultados obtenidos en la evaluación de la interfaz del SNA de la planta de potencia del A400M en relación a las notificaciones sonoras y los niveles de prioridad:

Componente CAUTION_LIGHT Criticidad'B'atributos inadecuados.
Deben incluir 'Sonido único' y no 'Sonido repetitivo'

4.3.5. Parámetro 5: Degradación y Pérdida de rendimiento.

En esta sección se describen las principales características del parámetro 5: 'Degradación y Pérdida de rendimiento', relacionadas con la evaluación predictiva, aunque inicialmente está fuera del conjunto de parámetros críticos seleccionados-

Los usuarios hacen uso de los sistemas críticos durante largos períodos de tiempo durante los que se exige una intensa concentración sobre la interfaz, lo que inevitablemente conduce a acumular mucho cansancio y a una degradación en las capacidades de los usuarios. [Dismukes et al. 1998]. El cansancio y la degradación son mayores cuanto mayor sea el número de tareas que un usuario no puede realizar automáticamente y el número de tareas (1 tarea) que puede realizar un usuario de forma consciente.

Una forma de paliar este cansancio es la automatización de las tareas primarias. Sin embargo, también se produce una pérdida de rendimiento tras largos periodos de funcionamiento automático. Al pasar de una tarea que se realiza de forma automática o semi-automática, tras un período relativamente largo (mayor que el tiempo de desvanecimiento de la memoria de corto alcance) durante el cual se estaba realizando una única tarea, no muy compleja de forma consciente, es necesario un cambio de contexto en los procesos de la actividad mental del ser humano y se precisa de un intervalo de adaptación. Este cambio de procesos en la actividad mental se puede asimilar a un cambio de contexto multitarea al ejecutar una tarea distinta en un único procesador. Este intervalo debido al cambio de contexto es interpretado erróneamente por algunos autores ([Ballas et al. 1992; Kieras et al. 2001]), como un déficit debido a la automatización de las tareas realizadas por el usuario. El autor de este documento considera que no es más que una consecuencia lógica de:

- (1) el desvanecimiento de la memoria de corto alcance,
- (2) el cambio de contexto entre tareas y
- (3) los estímulos necesarios para volver a realizar la tarea primaria de forma manual.

El marco de evaluación debe asegurar un tiempo mínimo para cada notificación, aunque las notificaciones hayan sido reconocidas por los usuarios. Este tiempo mínimo será tanto mayor cuánto mayor sea el período de interacción de los usuarios con el sistema en funcionamiento automático y el tiempo transcurrido desde el último mensaje de notificación.

No se ha conseguido demostrar a través de la literatura existente su correlación directa con la usabilidad, sino que más bien, está relacionada con las características cognitivas de los usuarios. Por lo tanto, su implementación se ha eliminado del marco de evaluación.

4.3.6. Parámetro 6: Interfaz compartida por más de un usuario.

En esta sección se describen las principales características del parámetro 6: 'Interfaz compartida por más de un usuario', relacionadas con la evaluación predictiva, aunque inicialmente está fuera del conjunto de parámetros críticos seleccionados.

En sistemas críticos con interfaces complejas manejadas por más de un usuario es necesario que los usuarios cooperen, negocien, interaccionen entre sí, y que se redistribuyan las tareas del sistema crítico de forma dinámica en función de las notificaciones recibidas

(situaciones de emergencia) y de la duración de la interacción de los usuarios con el computador (por fatiga de uno de los usuarios). En estos casos puede hacerse necesario que los usuarios decidan si pueden o deben aceptar nuevas tareas, si una tarea debe acortarse para centrarse en otra tarea más urgente o qué usuario es el más idóneo o qué usuario resulta menos perjudicado. Normalmente cada usuario tiene habilidades y capacidades únicas²⁴ y el conjunto de usuarios debe equilibrar su carga de trabajo para que sean efectivos.

Hay dos posibles formas de aproximación a este problema, similares a las adoptadas en la teorías de Multi-Agentes en Inteligencia Artificial [He e loerger, 2003]. Una es simbólica, **razonamiento lógico**, basada en si los usuario pueden determinar un plan (un mini-plan) que puedan usar para alcanzar los objetivos (“*Know how*”). La otra es un **razonamiento cuantitativo** que tiene en cuenta las habilidades de cada usuario, el tiempo disponible para realizar las tareas [Hendy et al. 1997] y una garantía mínima cuantificada en los sistemas críticos en realizar las tareas en el tiempo adecuado (para el sistema y no para los usuarios) y en el número de errores cometidos (idealmente cero).

Cada usuario tiene capacidades cognitivas limitadas (véase Parámetro 2: Multitarea.) manifestadas en su atención, memoria, etc. que dependen no solamente de sus habilidades individuales sino también en su capacidad para realizar tareas en paralelo.

Si la información procedente de una notificación debe ser compartida por más de un usuario obviamente, el sistema de notificación debe hacer fácilmente accesible la información a todos los usuarios implicados. El conjunto de notificaciones debe ser presentado a todos y cada uno de los usuarios con el fin de mejorar la coordinación entre usuarios.

El hecho de compartir la información entre varios usuarios puede hacer disminuir la atención de cada uno de los usuarios.

Según los principios de “información mínima” y de “encapsulamiento de la información”, no todas las notificaciones deben llegar a todos los usuarios. Sólo las notificaciones de máxima prioridad deben llegar a todos los usuarios. En este caso el modelo conceptual de la interfaz debe asignar cual el es usuario primario encargado de las tareas de notificación y quienes son los usuarios secundarios.

El marco de evaluación debe verificar que el reparto de tareas entre usuarios cubre todas las tareas derivadas de la notificación de un mensaje, de modo que todas y cada una de las notificaciones recibidas sean atendidas por el usuario primario correspondiente a cada notificación. La evaluación también debe verificar que la interfaz puede reconfigurarse para que una notificación de alta prioridad sea atendida por un usuario secundario.

La evaluación de este parámetro es en su mayor parte predictiva, sin producto (tan sólo el último ítem precisa el test con usuarios con el producto final), basada en el modelo de distribución de tareas en un equipo de persona [Kleiman et al. 1992]. Sin embargo, exige disponer de la descripción de las tareas primarias de control que no forma parte de esta tesis. Tampoco se ha conseguido demostrar su correlación directa con la usabilidad, sino que más bien, está relacionada con las características cognoscitivas de los usuarios. Por lo tanto, su implementación se ha eliminado del marco de evaluación, aunque la evaluación de este parámetro también debería verificar que:

- Si existen varios usuarios, la notificación puede ser recibida de forma simultánea por todos y cada uno de ellos.
- Todos los usuarios pueden acceder a las notificaciones en el mismo instante de tiempo por los mismos medios y canales. Si el sistema de notificación emplea pantallas, cada usuario debe disponer de una pantalla propia. Si la interfaz precisa de un dispositivo apuntador para ser manejada, cada usuario dispone de su propio dispositivo, perfectamente diferenciados entre ellos. Por ejemplo, en el A400M los cursores correspondientes al capitán y copiloto tienen las siguientes formas, respectivamente, en estado activo e inactivo.

²⁴ Los sistemas críticos requieren un mínimo de habilidades en el uso de la interfaz que suele precisar de entrenamiento para conseguirlas.

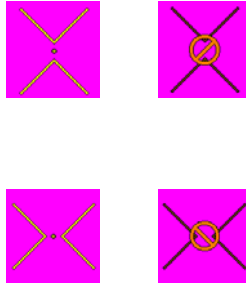


Figura 28 Arriba: Cursor activo e inactivo del usuario principal

Abajo: Cursor activo e inactivo del usuario secundario

- La información procedente del sistema de notificación es la misma para todos los usuarios.
- Si el reconocimiento o la inhibición de alguna notificación precisan de controles específicos exclusivos de cada usuario, estos trabajan en un modo “o” lógica. Es decir, las tareas inherentes a cada notificación pueden ser desempeñada por un único usuario, sin la intervención del resto de usuarios.
- Si el reconocimiento o la inhibición de alguna notificación precisa de controles comunes a todos los usuarios, éstos deben estar concebidos para ambidiestros y ser manejados en modo “y” lógica. Es decir, las tareas inherentes a cada notificación deben ser desempeñadas por todos los usuarios, con la intervención de todos ellos.
- Cuando llega una tarea nueva como consecuencia de la notificación de un evento, existe un plan para asignar esta tarea a un usuario determinado. Cada uno de los planes de ejecución de tareas correspondiente a un escenario de situaciones anormales es conocido por todos y cada uno de los usuarios. Este último aspecto necesita del producto para ser totalmente evaluado.

4.3.7. Otros parámetros a ser evaluados.

En esta sección se describen brevemente los parámetros que se han descartado como parte del conjunto de parámetros críticos y su motivación.

Es fácil caer en la tentación de incluir en la evaluación “cuánto” es de intuitivo un sistema. Para ello, sería preciso conocer previamente ¿qué significa “intuitivo”? Podría definirse una interfaz intuitiva como aquella en la que las tareas que permite realizar se adaptan a los procesos cognitivos que son aplicados de forma natural por un ser humano. No obstante, hasta el momento actual no existe un conocimiento suficiente acerca del funcionamiento del cerebro humano, aunque ya existe una disciplina conocida como Brain Computer Interaction (BCI), y cuáles son los procesos cognitivos naturales del cerebro humano. Sencillamente, la cualidad “intuitivo” no puede medirse directamente ni puede ser manejada por los evaluadores.

Otro factor de medida cualitativo como la **satisfacción** del usuario es considerada por algunos autores [Broker, Chewar y Scott MacCrickard, 2004] una medida mucho mas concluyente que otras medidas directas del rendimiento como pueden ser que la notificación sea interpretada correctamente o la interrupción de la tarea principal. Las únicas medidas actuales de la satisfacción se basan en medidas subjetivas (basadas fundamentalmente en los cuestionarios NASA-TLX) y, por tanto, ha sido descartada por no proporcionar datos objetivos y reproducibles para cualquier usuario.

Ballas et al. en [Ballas et al. 1992] seleccionan otros dos parámetros susceptibles de ser evaluados: la **distancia semántica y el compromiso**.

La **distancia semántica** (también conocida como execution gulf) es la distancia en el procesamiento de la información entre las tareas que el usuario pretende realizar con esta interfaz y las funciones proporcionadas por el sistema. El compromiso es la implicación del usuario en el sistema cuando éste es capaz de interactuar directamente con el dominio de la aplicación y los objetos que pueda encontrar en el dominio. En este caso el usuario no percibe al sistema como un intermediario. La clave es el uso de un sistema de Entrada/Salida entrelazado en el que cualquier expresión de entrada hace uso directo de una expresión de salida previa.

Un buen diseño con manipulación directa basado en una metáfora [Hutchins et al. 1987] debe incluir una distancia semántica pequeña y un elevado compromiso del usuario con la interfaz.

Ballas et al. [Ballas et al. 1992] no consiguieron, ni independizar un parámetro del otro ni evaluarlos. Para ellos, la solución pasaría por definir requisitos con las prestaciones esperadas en cada interfaz o, en ausencia de requisitos, que estos parámetros formen parte de forma explícita en la evaluación.

Tanto la distancia semántica como el compromiso deben cubrirse en la evaluación de la usabilidad de cualquier interfaz (véase sección 4.3) no solamente en la interfaz de los Sistemas de Notificación, y no son tratados en este documento.

Otros parámetros tales como el **nivel de motivación, el tiempo disponible, el esfuerzo, la velocidad, la calidad o la fatiga** por uso prolongado de la interfaz o incluso los **eventos del azar** [Kieras et al. 2001] o bien ya están cubiertos de forma explícita por los parámetros críticos anteriores (como es el caso de la fatiga, el nivel de motivación y el esfuerzo, la velocidad y la calidad), por los parámetros primigenios de eficacia, eficiencia y usabilidad (velocidad y calidad) o bien pueden considerarse como una combinación lineal de los parámetros críticos definidos anteriormente (en concreto como linealmente dependientes de los parámetros sobrecarga, degradación y contexto) y no formarán parte del marco de evaluación desarrollado en este documento.

Además de los parámetros cognitivos, existen otros parámetros no-cognitivos que pueden ser característicos de los sistemas críticos, como puede ser la seguridad de los datos. Estos parámetros terciarios, sin embargo, son muy importantes en las aplicaciones militares y en aplicaciones consideradas secretas.

4.3.8. Resumen de los parámetros críticos

El objetivo fundamental del proceso de evaluación de usabilidad de la interfaz de un SNA es la indicación de forma clara y precisa de qué parte de los requisitos se cumplen con el diseño aportado. Cuando estos requisitos no existen, puede llevarse a cabo la evaluación de usabilidad a partir de la medida de parámetros críticos.

Varios autores [McCrickard et al. 2003a] han establecido un conjunto de parámetros críticos para los Sistemas de Notificación de sobremesa. Estos parámetros críticos son la **interrupción, la reacción y la comprensión**. Sin embargo, este conjunto de parámetros resulta insuficiente para los sistemas críticos, particularmente para las interfaces de los SNAs, en los que prima su carácter determinista y su fiabilidad.

Para solucionar esta deficiencia, en esta tesis doctoral se ha propuesto un conjunto de parámetros formado por:

- Parámetro 1: **Complejidad y Sobrecarga en la información.**
- Parámetro 2: **Multitarea.**
- Parámetro 3: **Comportamientos modales, múltiples opciones y hábitos.**
- Parámetro 4: **Contexto y Situaciones anormales.**
- Parámetro 5: **Degradación y Pérdida de rendimiento.**
- Parámetro 6: **Interfaz compartida por más de un usuario.**

Estos parámetros son **variables independientes** que caracterizan de forma unívoca la interfaz. Estos parámetros son reproducibles, medibles y manejables por los diseñadores y usuarios, permitiendo la evaluación objetiva y extensible de la interfaz. Además, permiten:

1. Ser modelados analíticamente a partir de las experiencias derivadas de las principales teorías cognitivas y de los principales modelos de usuario. A partir de estos modelos analíticos se pueden obtener datos cualitativos y cuantitativos que posibiliten un proceso de evaluación repetible, objetivo e independiente de la interfaz, los evaluadores y los usuarios.
2. Ser automatizados para permitir la evolución sistemáticas de varios diseños alternativos.
3. Su carácter analítico y automatizado facilitan la evaluación predictiva.

De este conjunto inicial de parámetros críticos se ha suprimidos el parámetro 5, Degradación y Pérdida de rendimiento, y el parámetro 6 Interfaz compartida por más de un usuario, por no haberse encontrado evidencias suficientes en la literatura de su relación directa con la usabilidad de una interfaz.

Otros parámetros como la **satisfacción, nivel de motivación, el tiempo disponible, el esfuerzo, la velocidad, la calidad o la fatiga** por uso prolongado de la interfaz o incluso los **eventos del azar**, o bien se pueden considerar como dependientes de los parámetros anteriores o bien no son medibles de forma objetiva.

En trabajos futuros se abordará la demostración experimental de la relación de estos dos parámetros con la usabilidad y su posterior integración en el marco de evaluación predictivo.

4.4. Informes proporcionados por el marco de evaluación predictivo

Los informes suministrados por el marco de evaluación cubren todas las facetas consideradas como necesarias en la evaluación de usabilidad, proporcionando informes directamente relacionados con todos y cada uno de los parámetros críticos empleados para caracterizar los SNA, además de proporcionar datos cuantitativos y cualitativos sobre cualidades genéricas de cualquier interfaz. Los distintos datos incluidos en los informes se han ido describiendo detalladamente en la sección 4.3 durante la descripción de los parámetros críticos.

A continuación se enumeran los informes incluidos en el marco de evaluación:

1. Relación de todos los componentes de la interfaz del SNA.
2. Informe sobre la usabilidad de la interfaz, cubriendo aspectos relacionados con:
 - La **percepción sensorial**, y
 - La **confirmación de acciones**.
3. Informe relacionado con el parámetro 1: Complejidad y sobrecarga de información, incluyendo la evaluación de:
 - La **información transmitida**, desde la perspectiva de la **semiótica** y **redundancias** incluidas en la interfaz para garantizar que la notificación es recibida por los usuarios.

- **Consistencia** de la información contenida en la interfaz y la **repetición** de las notificaciones.
4. Informe relacionado con el parámetro 2: Multitarea, proporcionando datos cuantitativos acerca de:
 - **Sobrecarga mental** en los usuarios en los distintos contextos y escenarios,
 - Sobrecarga de los componentes independientemente del **perfil** de los usuarios,
 - Causas que originan la sobrecarga debidas a la **interferencia entre tareas**.
 5. Informe relacionado con la existencia Comportamientos modales, múltiples opciones y hábitos (parámetro 3).
 6. Informe relacionado con el parámetro 4: Contexto y Situaciones anormales, relativos a:
 - **Principio de inhibición** y la asignación dinámica de prioridades de las notificaciones.
 - Existencia de **estados de seguridad**.

Dentro del marco de evaluación, el acceso a estos informes se realiza a través del menú de enlaces recogido en el Anexo I.

En el Anexo VI puede encontrarse la reproducción completa de estos informes como resultado de la aplicación al sistema de notificación de la planta de potencia del A400M.

4.5. Caracterización de las interfaces de los Sistemas de Notificación en sistemas críticos de aviónica.

Un patrón de IHC viene determinado por una serie organizada de diálogos entre el usuario y el sistema. El usuario y el sistema interactúan mediante el intercambio de una serie de mensajes que constituyen un lenguaje interactivo. Desde esta perspectiva, el diseño de una interfaz de usuario puede verse como una labor de ingeniería semiótica [Prates et al. 2000]. Así, un componente de diseño IHC es el resultado de unos principios específicos de comunicación que expresan el diálogo entre el usuario y el sistema.

Un patrón de IHC de Sistemas de Notificación para situaciones críticas también viene determinado para una serie de diálogos, en este caso muy restrictivos, sin lugar para la ambigüedad y con mensajes totalmente predefinidos en cada instante de tiempo. El entorno, las condiciones que originan la situación crítica y las soluciones que ofrece nuestro sistema para resolver esta situación crítica determinan los diálogos que configuran el componente de IHC.

El componente IHC tiene tres vertientes: **semántica**, **sintáctica** y **léxica** [Green 1983]. La componente semántica soporta los significados abstractos del modelo conceptual de la interfaz o cómo entiende el diseñador la interfaz. La componente léxica incluye todos los eventos posibles (teclas, acciones con el ratón, presentación visual, etc.) y la componente sintáctica incluye todas las secuencias válidas de eventos.

Tenido en cuenta estos tres aspectos (semántico + léxico + sintáctico), los componentes más básicos de cualquier patrón de un SNA son:

- (1) Los componentes que manejan **1 bit** (1 pitido, luz/no-luz, encendido/apagado) equivalente al protón (H+) en química.
 En una interfaz de un sistema de notificación en general se corresponden con los elementos que permiten seleccionar, de forma excluyente, una opción entre dos posibles: componente que emiten un destello de luz, o que poseen solamente dos estados posibles de sonido/silencio o los botones que permiten seleccionar/no seleccionar una opción (*radio buttons*).

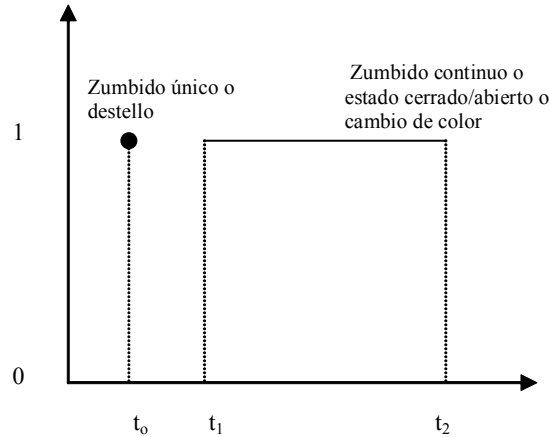


Figura 29 Componentes HCl de 1 bit para un SNA

- (2) Los componentes que manejan **2 bits**, como los sonidos intermitentes o las luces monocolor.
- (3) Los componentes que manejan **3bits**, como las luces monocolors intermitentes.
- (4) Caracteres que representen símbolos especiales en el dominio del SNA como pueden ser: \mapsto , \diamond , \blacktriangledown . Este tipo de componentes puede ir acompañado de los componentes anteriores.
- (5) Cajas de texto con caracteres alfanuméricos. El texto puede presentar distintos atributos como el color, empleo de mayúsculas y minúsculas, tamaño, tipo de letra, etc. Este tipo de componentes puede ir acompañado de los componentes anteriores.
- (6) Valores numéricos en un cierto rango. Este tipo de componentes puede ir acompañado de los componentes anteriores.
- (7) Una dial compuesto por un arco de circunferencia, dividido en un número de sectores (entre 3 y 7), y una aguja indicadora. Este tipo de componentes puede ir acompañado de los componentes anteriores.

Con estos 'átomos' se pueden formar moléculas (menús, gráficos, diales, mensajes de voz...) más o menos complejas dependiendo del número de átomos componentes y de las reglas de agregación de la química IHC. Dependiendo de las condiciones del entorno (plasmados en los distintos valores de los parámetros críticos definidos anteriormente, similares a la presión y temperatura en química) estos patrones moleculares se presentarán al usuario en distinta apariencia (alarmas, indicadores, pantallas secundarias similares al estado sólido, líquido o gaseoso del agua o a la forma de cristalización –diamante y grafito –. El concepto de "*claim*" [Caroll y Rosson 1992] es equivalente a las familias de los elementos (anfígenos, gases nobles, metales, etc.).

La evaluación debe encargarse de encontrar las limitaciones de agregación (similar a los enlaces iónico, covalente, metálico o híbridos en química o a las asociaciones de ciertos agentes con operadores y construir expresiones más complejas por composición usando lógica dinámica u otras técnicas relacionadas con los lenguajes de programación semántica) y anticipar qué estados no son posibles según el valor de los parámetros críticos. O de otro modo, según las propiedades del capítulo 4.8, qué reglas de interacción son posibles, y, a partir de estas reglas, qué interfaces resultantes de las relaciones de agregación, composición y uso entre componentes, son válidas para un SNA.

Un componente de IHC de Sistemas de Notificación para situaciones críticas en las que intervienen varios usuarios (piloto, copiloto y torre de control) añade al componente IHC anterior los posibles diálogos entre usuarios. En estas situaciones, un usuario interactúa con el sistema, pero el “sistema también incluye a los otros usuarios”²⁵.

Estos componentes de diseño de un SNA deben contemplar las siguientes propiedades o atributos:

1. *Medios y canales* empleados en la notificación y para atraer la atención del usuario.
2. Tipos de *dispositivos de salida* de datos del sistema de notificación y canales empleados en la interacción con el ser humano (auditivo, visual o táctil). Pueden ser: ninguno, altavoces para notificaciones sonoras y mensajes de voz, empleo del color en pantallas, LEDs y lámparas como indicadores luminosos.
3. *Controles* o tipos de dispositivos de entrada de datos al sistema de notificación empleados para reconocer una notificación. Pueden ser: ninguno, ratón, teclado, panel táctil, reconocimiento de voz, botones dedicado, etc. O combinaciones de los dispositivos anteriores.
4. *Medios y canales* empleados para enviar la realimentación a los usuarios de que se han realizado correctamente las posibles acciones derivadas de la notificación de un evento.
5. *Accesibilidad* y lugar de *presentación* según su nivel de prioridad definido en el capítulo 4.3.4. Por ejemplo, las notificaciones de máximo nivel de prioridad deben situarse en el campo de visión principal de los usuarios.
6. Grado de *Fidelidad* con el que permite simularse el componente con la interfaz del sistema real: prototipos de sobremesa, maqueta, cabina real.
7. Nivel de *criticidad*: dependiendo del nivel en que se englobe no son admisibles ciertos operadores y sentencias muy típicas de la Orientación a Objetos y la instanciación de patrones.
8. Objetivo de *seguridad de datos* [NIST 1999] según una serie de derechos de acceso.
9. *Combinación e incompatibilidad* específica con otros componentes.
10. *Contenido semántico de la notificación: Medios de comunicación y reglas* del diálogo con el usuario.
11. Capacidad para la interacción en *operación normal y anormal*.
12. Las notificaciones se producen de forma automática o manual.

²⁵ ¿Qué ventajas puede aportar en el proceso de evaluación incluir una cámara de vídeo en la cabina de un avión que permita visualizar al piloto y al copiloto en las situaciones de emergencia? ¿Se sentirían los pilotos intimidados? ¿Debería funcionar la cámara continuamente o solamente bajo demanda de la tripulación? ¿Qué inconvenientes presenta esta cámara en los aviones militares (Implicaciones de seguridad)?

$\langle \text{interfaz_notificación} \rangle ::=$
 $\langle \text{estándares} \rangle \langle \text{heurísticas} \rangle \langle \text{reglas_de_interacción} \rangle \langle \text{multiusuario} \rangle \langle \text{componente_IHC} \rangle \langle \text{contextos} \rangle \langle \text{escenarios} \rangle$

$\langle \text{estándares} \rangle ::= \{ \langle \text{estándar} \rangle \}$
 Denotando $\{ \langle \text{estándar} \rangle \}$ el conjunto de todas las posibles ocurrencias de estándar, incluida la ocurrencia nula ε o vacía.

$\langle \text{estándar} \rangle ::= \text{estándar} = \langle \text{identificador} \rangle \langle \text{descriptor_estandar} \rangle$

$\langle \text{identificador} \rangle ::= \text{id} = \{A\}$

$A ::= \varepsilon \mid a \mid b \mid c \mid d \mid e \mid f \mid g \mid h \mid i \mid j \mid k \mid l \mid m \mid n \mid \tilde{n} \mid o \mid p \mid q \mid r \mid s \mid t \mid u \mid v \mid w \mid x \mid y \mid z \mid 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid 4 \mid 5 \mid 6 \mid 7 \mid 8 \mid 9 \mid ' \mid (\mid = \mid _ \mid) \mid ' \mid / \mid " \mid , \mid _ \mid A \mid$
 $B \mid C \mid D \mid E \mid F \mid G \mid H \mid I \mid J \mid K \mid L \mid M \mid N \mid \tilde{N} \mid O \mid P \mid R \mid S \mid T \mid U \mid V \mid W \mid X \mid Y \mid Z$
 $AI ::= \varepsilon \mid 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid 4 \mid 5 \mid 6 \mid 7 \mid 8 \mid 9 \mid + \mid . \mid -$

$\langle \text{descriptor_estandar} \rangle ::= \text{descriptor} = C$

$C ::= B \mid DE$

$B ::= \{A\} \{AI\}$

$D ::= \text{ISO 9241} \mid \text{AP 2080} \mid \text{CS25} \{A\}$

$E ::= \text{info} = \{B\}$

E indica una referencia o una cita concreta dentro de un $\langle \text{estándar} \rangle$. Es utilizado en la evaluación crítica para indicar qué principio se está violando y qué es lo indicado según el $\langle \text{estándar} \rangle$.

$\langle \text{heurísticas} \rangle ::= \{ \langle \text{heurística} \rangle \}$

$\langle \text{heurística} \rangle ::= \varepsilon \mid \langle \text{identificador} \rangle \langle \text{descriptor_heurística} \rangle$

$\langle \text{descriptor_heurística} \rangle ::= \text{descriptor} = Q E$

$Q ::= \{B\} \mid \text{Need to know} \mid \text{Dark interface} \mid \text{Información mínima} \mid \text{Principio de inhibición}$

$\langle \text{multiusuario} \rangle ::= \{ \langle \text{usuario} \rangle \}$

$\langle \text{usuario} \rangle ::= \langle \text{identificador} \rangle \langle \text{descriptor_usuario} \rangle$
 $\langle \text{acceso} \rangle \langle \text{rol} \rangle \langle \text{rol} \rangle \langle \text{máxima_capacidad} \rangle \langle \text{experiencia} \rangle$

$\langle \text{descriptor_usuario} \rangle ::= \text{descriptor} = K$

$K ::= \text{piloto} \mid \text{copiloto} \mid \text{3rd tripulante}$

$\langle \text{acceso} \rangle ::= \text{acceso} = L$

$L ::= \text{all} \mid \text{notificación}$

$\langle \text{rol} \rangle ::= \text{rol} = M$

$M ::= \text{principal} \mid \text{secundario}$

$\langle \text{habilidades_cognitivas} \rangle ::= \text{habilidades_cognitivas} = \{A1\}$

Las $\langle \text{habilidades_cognitivas} \rangle$ de un usuario están normalizadas y esatán dadas por un número real comprendido en el rango [0.0, 1.0].

$\langle \text{experiencia} \rangle ::= \text{experiencia} = N$

$N ::= \text{entrenamiento} \mid \{A1\}$

La experiencia previa del usuario puede valorarse a partir de su experiencia previa con la interfaz real (o similar) o en entornos simulados. N indica el número de horas de experiencia de un usuario con el sistema real o con una interfaz similar. Un valor igual a '0' indica que, únicamente, se ha realizado entrenamiento.

$\langle \text{máxima_capacidad} \rangle ::= MC = \{A1\}$

La $\langle \text{máxima_capacidad} \rangle$ de un piloto se estandariza con un valor normalizado igual a 1. Un usuario con mucha experiencia puede superar este valor normalizado hasta un valor máximo de 1.5. Un usuario novel, en situaciones de pérdida de rendimiento o en situaciones degradadas puede presentar valore inferiores a 1. Todos los posibles valores son números reales comprendidos en el rango [0.0, 1.5].

$\langle \text{componente_IHC} \rangle ::= \text{componente_IHC} \{ \langle \text{componente_IHC} \rangle \}$
 $\langle \text{reglas_de_interacción} \rangle$

$\langle \text{componente_IHC} \rangle ::= F \mid FG \mid FGH$

$F ::= \langle \text{identificador} \rangle \langle \text{descriptor} \rangle$

$G ::=$
 $\langle \text{objetivos} \rangle \langle \text{confirmación_de_acciones} \rangle \langle \text{modos} \rangle \langle \text{redundancia} \rangle \langle \text{realimentación} \rangle$
 $\langle \text{automatización} \rangle$

$H ::=$
 $\langle \text{accesibilidad} \rangle \langle \text{estados} \rangle \langle \text{eventos} \rangle \langle \text{compatibilidad} \rangle \langle \text{consistencia} \rangle \langle \text{percepción_sensorial} \rangle \langle \text{tareas} \rangle \langle \text{notificación} \rangle$

$\langle \text{descriptor} \rangle ::= \text{descriptor} = B$

$\langle \text{objetivos} \rangle ::= \text{objetivos} = \varepsilon \mid \langle \text{monitorización} \rangle \mid \langle \text{interrupción} \rangle \mid$
 $\langle \text{reconocimiento} \rangle \mid \langle \text{comprensión} \rangle$

Si $\langle \text{objetivos} \rangle ::= \varepsilon$, la evaluación debe desechar este componente puesto que resulta totalmente innecesario.

$\langle \text{monitorización} \rangle ::= \text{indicación}$

Componente de la interfaz del SNA dedicados a indicar las variables de control de sistema. Con estos componenetes pueden realizarse tareas de $\langle \text{monitorización} \rangle$; incluye información de los parámetros relevantes para el control de sistema crítico. Esta información es evaluada según el principio de "información mínima"

$\langle \text{interrupción} \rangle ::= \text{alerta} \mid \text{aviso}$

$\langle \text{reconocimiento} \rangle ::= E$

Para un componente de la interfaz del SNA dedicado al $\langle \text{reconocimiento} \rangle$, incluye la información necesaria facilitar el reconocimiento de un notificación. Esta información debe pertenecer al dominio de la interfaz, en nuestro caso aviónica, e

idealmente especificado en uno de los estándares; en el caso de esta tesis doctoral [AP 2080 2000].

$\langle \text{comprensión} \rangle ::= \text{memo} \mid \text{checklist}$

Los componentes de la interfaz de un SNA con los que pueden realizarse tareas de $\langle \text{comprensión} \rangle$ pueden ser 'memos' o 'checklist'.

Los componentes 'Memo' se emplean como recuerdo al usuario de la existencia de notificaciones pendientes y del estado de operación del sistema de control.

Los componentes 'Checklist' se emplean para facilitar al usuario el estado en la ejecución de un conjunto de tareas que debe realizar el usuario como consecuencia de una notificación.

$\langle \text{confirmación_de_acciones} \rangle ::= \text{confirmación_de_acciones} = J$

$J ::= \text{sí} \mid \text{no}$

La evaluación debe comprobar que en cualquier condición en la interacción con la interfaz del sistema de notificación, todos los componentes incluyen un subcomponente dedicado a la confirmación de acciones. Es decir, la evaluación correcta se produce con la condición $\langle \text{confirmación_de_acciones} \rangle = \text{sí}$

$\langle \text{modos} \rangle ::= \text{modos} = \{A1\}$

Donde el valor '1' representa ausencia de modos e indica la existencia de un único plan posible para poder desempeñar las tareas para las que concibió la interfaz. La evaluación debe comprobar que el número de modos en un SNA debe ser siempre '1'.

$\langle \text{redundancia} \rangle ::= \text{redundancia} = \{A1\}$

El sistema de notificación puede ser redundante. Este parámetro indica el número de veces que está redundado. La redundancia aumenta la fiabilidad del sistema de notificación y del sistema de control, pero plantea problemas de consistencia entre las distintas instancias del sistema de notificación.

$\langle \text{realimentación} \rangle ::= \text{realimentación} = J$

La evaluación debe comprobar que en cualquier condición, el usuario siempre recibe realimentación acerca del efecto de la notificación en el sistema. Es decir, la evaluación correcta se produce con la condición $\langle \text{realimentación} \rangle = \text{sí}$

$\langle \text{automatización} \rangle ::= \text{automatización} = J$

Un sistema de notificación nunca puede estar automatizado y también debe estar activo durante las etapas en las que las tareas del sistema de control estén automatizadas. En las etapas de automatización, el sistema de notificación debe asegurar especialmente el funcionamiento de los atractores de atención. La evaluación debe comprobar que durante las etapas de automatización, en las tareas incluidas en este componente, los atractores de atención tienen atributos de "parpadeo" y/o sonido "repetitivo".

$\langle \text{accesibilidad} \rangle ::= \text{accesibilidad visual} = \langle \text{visual} \rangle \text{ auditiva} = \langle \text{auditiva} \rangle \text{ táctil} = \langle \text{táctil} \rangle$

$\langle \text{visual} \rangle ::= V1-1 \mid V1-2 \mid V2-1 \mid V2-2 \mid V3-1 \mid V3-2 \mid V3-3$

Todos los componentes de la interfaz de un SNA deben estar distribuidos en zonas de accesibilidad visual según su prioridad. Estas zonas se clasifican según la Tabla 6 Clasificación de accesibilidad visual.

$\langle \text{auditiva} \rangle ::= A1 \mid A2 \mid A3$

Todos los componentes de la interfaz de un SNA deben estar distribuidos en zonas de accesibilidad auditiva según su prioridad. Estas zonas se clasifican según Tabla 4 Clasificación de accesibilidad auditiva.

$\langle \text{táctil} \rangle ::= T1 \mid T2 \mid T3-1 \mid T3-2 \mid T3-3 \mid T3-4$

Todos los componentes de la interfaz de un SNA deben estar distribuidos en zonas de accesibilidad táctil según su prioridad. Estas zonas se clasifican según la Tabla 8 Clasificación de accesibilidad táctil de un componente según la prioridad de la notificación.

$\langle \text{estados} \rangle ::= \langle \text{operación_normal} \rangle \langle \text{inicial} \rangle \langle \text{defecto} \rangle \langle \text{seguridad} \rangle$

$\langle \text{operación_normal} \rangle ::= \text{normal} = \{ \langle \text{estado} \rangle \}$

$\langle \text{estado} \rangle ::= \text{ninguno} \mid \{A\}$

$\langle \text{inicial} \rangle ::= \text{inicial} = \langle \text{estado} \rangle$

$\langle \text{defecto} \rangle ::= \text{defecto} = \langle \text{estado} \rangle$

$\langle \text{seguridad} \rangle ::= \text{seguridad} = R$

$R ::= \text{más alto} \mid \langle \text{estado} \rangle$

$\langle \text{eventos} \rangle ::= \langle \text{sistemas} \rangle \langle \text{operación} \rangle \langle \text{externos} \rangle$

$\langle \text{sistemas} \rangle ::= \{A\}$

Algunos eventos pueden estar producidos por la acción de otros sistemas o por fallos en la comunicación con otros sistemas como pueden ser la red Aircraft Full Duplex (AFDX) empleada en aviónica, los botones y controles dedicados como la palanca de gases en el caso de la interfaz de la planta de potencia.

$\langle \text{operación} \rangle ::= \{A\}$

Algunos eventos están generados por transiciones no esperadas entre estados internos del sistema crítico o debido a la interacción con los usuarios; por ejemplo, por operaciones fuera de los rangos normales del sistema o por operaciones indebidas con los controles propios del sistema de notificación y del sistema crítico al que notifica.

$\langle \text{externos} \rangle ::= \{A\}$

Algunos eventos están producidos por condiciones externas al sistema o a la interacción con el usuario, como pueden ser las notificaciones debidas a las condiciones meteorológicas, ambientales, fallo en la alimentación eléctrica, etc.

$\langle \text{compatibilidad} \rangle ::= \{A\}$

$\langle \text{consistencia} \rangle ::= \langle \text{limpieza_de_notificación} \rangle \langle \text{pérdida_de_notificaciones} \rangle$

$\langle \text{limpieza_de_notificación} \rangle ::= \text{limpieza_de_notificación} = J$

$\langle \text{pérdida_de_notificaciones} \rangle ::= \text{pérdida_de_notificaciones} = J$

$\langle \text{percepción_sensorial} \rangle ::= \langle \text{foreground} \rangle \langle \text{background} \rangle \langle \text{notificación} \rangle$
 $\langle \text{transparencias} \rangle$

$\langle \text{foreground} \rangle ::= \langle \text{color} \rangle$

$\langle background \rangle ::= \langle color \rangle$
 $\langle notificación \rangle ::= \langle color \rangle$
 $\langle transparencias \rangle ::= J$
 $\langle color \rangle ::= \mathbf{blanco} \mid \mathbf{negro} \mid \mathbf{rojo} \mid \mathbf{ámbar} \mid \mathbf{azul} \mid \mathbf{gris} \mid \mathbf{amarillo}$
 $\langle tareas \rangle ::= \langle \{tarea\} \rangle$
 $\langle tarea \rangle ::= \langle identificador \rangle \langle descriptor_tarea \rangle \langle prioridad \rangle$
 $\langle coeficientes_de_interferencia \rangle$
 $\langle descriptor_tarea \rangle ::= \mathbf{descriptor} = T1$
 $T1 ::= \mathbf{reconocimiento} \mid \mathbf{monitorización} \mid \mathbf{comprensión} \mid \mathbf{interrupción}$
 $\langle prioridad \rangle ::= \mathbf{0} \mid \mathbf{1} \mid \mathbf{2} \mid \mathbf{3}$
 $\langle coeficientes_de_interferencia \rangle ::= \langle perceptual \rangle \langle cognitivo \rangle \langle respuesta \rangle$
 $\langle perceptual \rangle ::= \langle visual \rangle \langle auditivo \rangle$
 $\langle visual \rangle ::= \mathbf{VSF} = \{A1\} \mathbf{VVF} = \{A1\} \mathbf{VSA} = \{A1\} \mathbf{VVA} = \{A1\}$
 $\langle auditivo \rangle ::= \mathbf{AS} = \{A1\} \mathbf{AV} = \{A1\}$
 $\langle cognitivo \rangle ::= \mathbf{CS} = \{A1\} \mathbf{CV} = \{A1\}$
 $\langle respuesta \rangle ::= \mathbf{RS} = \{A1\} \mathbf{RV} = \{A1\}$
 $\langle notificación \rangle ::= \mathbf{notificación} \langle identificador \rangle \langle descriptor \rangle \langle prioridad \rangle$
 $\langle semiótica \rangle \langle diálogo \rangle$
 $\langle semiótica \rangle ::= \mathbf{semiótica} \langle información_asociada \rangle \langle abreviaturas \rangle$
 $\langle caracteres_especiales \rangle \langle dominio \rangle \langle unidades \rangle \langle minúsculas \rangle \langle recortes \rangle$
 $\langle diálogos_superpuestos \rangle \langle tiempo_mínimo \rangle$
 $\langle información_asociada \rangle ::= \mathbf{información_mínima} = \{A\}$
 $\langle abreviaturas \rangle ::= \mathbf{abreviaturas} = J$
 $\langle domino \rangle ::= D$
 $\langle unidades \rangle ::= \mathbf{unidades} U$
 $U ::= \mathbf{m} \mid \mathbf{m/s} \mid \mathbf{kg} \mid \mathbf{N} \mid \mathbf{W} \mid \mathbf{T} \mid \mathbf{\%} \mid \mathbf{Km/h} \mid \mathbf{HP} \mid \mathbf{psi} \mid \mathbf{°C}$
 $\langle minúsculas \rangle ::= \mathbf{minúsculas} = J$
 $\langle recortes \rangle ::= \mathbf{recortes} = J$
 $\langle caracteres_especiales \rangle ::= \mathbf{caracteres_especiales} = J$
 $\langle diálogo \rangle ::= \mathbf{diálogo} \{ \langle mensaje \rangle \}$

$\langle \text{mensaje} \rangle ::= \text{mensaje} \langle \text{identificador} \rangle \langle \text{descriptor} \rangle \langle \text{tipo} \rangle \langle \text{instalación} \rangle$
 $\langle \text{fidelidad} \rangle \langle \text{criticidad} \rangle \langle \text{atractor_de_atención} \rangle \langle \text{realimentación} \rangle \langle \text{seguridad} \rangle$

$\langle \text{tipo} \rangle ::= \text{tipo} = TP$

$TP ::= \text{Texto} \mid \text{Numérico} \mid \text{Discreto} \mid \text{Gráfico} \mid \text{Voz, Sonido_Simple} \mid$
 $\text{Sonido_Repetitivo} \mid \text{Luz} \mid \text{None}$

$\langle \text{instalación} \rangle ::= \text{instalación} = IN$

$IN ::= T1 \mid T2 \mid T3-1 \mid T3-2 \mid T3-3 \mid T3-4$

$\langle \text{fidelidad} \rangle ::= \text{fidelidad} = \{A1\}$

$\langle \text{criticidad} \rangle ::= \text{criticidad} = CR$

$CR ::= A \mid B \mid C \mid D \mid E$

$\langle \text{atractor_de_atención} \rangle ::= \text{atractor_de_atención} \langle \text{canal} \rangle \langle \text{atributos} \rangle \langle \text{medio} \rangle$
 $\langle \text{entrada} \rangle \langle \text{salida} \rangle$

$\langle \text{canal} \rangle ::= \text{canal} = CN$

$CN ::= \text{visual} \mid \text{auditivo} \mid \text{táctil}$

$\langle \text{atributos} \rangle ::= \text{atributos} = AT$

$AT ::= \text{parpadeo} \mid \text{repetitivo} \mid \text{voz_sintética} \mid \text{sonido_único}$

$\langle \text{medio} \rangle ::= \text{medio} = MD$

$\langle \text{entrada} \rangle ::= \text{entrada} = EN$

$\langle \text{salida} \rangle ::= \text{salida} = SA$

$MD ::= \text{pantalla}$

$EN ::= \text{ratón} \mid \text{teclado}$

$SA ::= \text{pantalla} \mid \text{altavoz}$

$\langle \text{realimentación} \rangle ::= \text{realimentación} \langle \text{canal} \rangle \langle \text{atributos} \rangle \langle \text{medio} \rangle \langle \text{entrada} \rangle$
 $\langle \text{salida} \rangle$

$\langle \text{seguridad} \rangle ::= \text{seguridad EAL} = SEG$

$SEG ::= 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid 4 \mid 5 \mid 6 \mid 7$

$\langle \text{reglas_de_interacción} \rangle ::= \{ \langle \text{regla} \rangle \}$

$\langle \text{regla} \rangle ::= \langle \text{identificador} \rangle \langle \text{componente} \rangle \langle \text{visibilidad} \rangle \langle \text{independencia} \rangle$

$\langle \text{componente} \rangle ::= \text{componente}$

$\langle visibilidad \rangle ::= \mathit{visible} = J$

$\langle independencia \rangle ::= \mathit{independiente} = J$

4.5.2. Caracterización XML de un componente de interfaz para un sistema de notificación en aviónica.

En esta sección se incluye la caracterización XML de un componente típico de una interfaz de SNA: la indicación de una magnitud física del motor, correspondiente al empuje, la presión o la temperatura, y que incluye:

- una indicación numérica;
- un dial con una aguja y varios sectores, uno de los cuales corresponde a la zona de aviso (naranja) y otro a la zona de emergencia (roja); y
- una indicación discreta correspondiente al modo de operación del sistema de control.

Un ejemplo sencillo de caracterización XML para un SNA puede encontrarse en el Anexo II. El esquema XML (XSD) correspondiente puede encontrarse en el Anexo III. La definición de documento XML correspondiente puede encontrarse en el Anexo IV.

4.6. Evaluación genérica de usabilidad

La interfaz de un SNA, no debe contemplar solamente la evaluación basada en los parámetros críticos, sino que, al igual que cualquier interfaz, también debe incluir la evaluación de la **percepción sensorial**, la **eficacia**, la **realimentación al usuario** y la **confirmación de acciones**. En esta sección se describe cómo se incluyen estos aspectos genéricos en el marco de evaluación y qué partes son cubiertas por el modelo predictivo y por qué.

En la evaluación de usabilidad de la interfaz de un sistema crítico se emplean como base los paradigmas empíricos obtenidos con la experiencia de uso al basarse siempre un nuevo diseño en diseños anteriores como sucede con las interfaces de los aviones, probadas durante miles de horas de vuelo. De forma que, a priori, la “evaluación heurística” [Nielsen 1994] puede considerarse como el método más adecuado junto con los métodos empíricos y formales.

La evaluación heurística a realizarse depende del campo concreto de la ingeniería en el que se encuadre el sistema crítico. En concreto para las interfaces de los sistemas críticos empleados en aviones las guías de diseño en la que debe apoyarse la evaluación genérica en las interfaces son (véase la sección 4.2):

- [AS7788] para la definición de características y medidas ópticas.
- [MIL PRF 22885-F] para las medidas de luminancia.
- [FAA HFDG 2005] como guía de diseño de Factores Humanos en interfaces con computadores.
- [ILARD 2000] para las guías de Iluminación.
- [AEA 2003] como directivas de compatibilidad de cabinas de aviones.

En línea con estas guías, la evaluación heurística del sistema de notificación de un sistema crítico debe recoger la percepción sensorial, la eficacia, la realimentación al usuario

y la confirmación de acciones. A continuación se detalla la evaluación a realizar en cada faceta, y dentro de cada faceta, los aspectos cubiertos por el marco de evaluación.

1. Eficacia.

La evaluación de la eficacia debe comprobar que la interfaz del SNA:

- Proporciona a los usuarios los **medios necesarios para limpiar** notificaciones. De esta forma si se producen varias notificaciones de forma simultanea, mostradas según un orden de prioridades (véase la Tabla 11 Niveles de prioridad de una notificación)
- Ofrece los medios necesarios para mostrar a los usuarios una **lista de todas las notificaciones**, actuales y pasadas, aun cuando ya hayan sido limpiadas.

Esta parte de la evaluación está cubierta por la implementación del **principio de inhibición**, en el ámbito de la evaluación del parámetro 4, Contexto y situaciones anormales (véase sección 4.3.4).

2. Percepción sensorial.

De acuerdo a la norma [FAA HFDG 2005] la evaluación de la percepción sensorial debe:

- Comprobar que se limita el número de colores empleados a 9 para evitar el cansancio y facilitar la discriminación en gráficos. En los componentes alfanuméricos, el número de colores debe limitarse a 4.

Comprobar que todas las combinaciones de colores están incluidas en la

- Tabla 12.
- Comprobar que se mantiene la consistencia en el uso de colores según las siguientes reglas:
 - Se emplea el mismo color de background en todos los patrones. Se recomienda que estos colores sean el gris y el negro.
 - Se emplea el mismo color para el mismo tipo de información: colores de corta longitud de onda (verde y azul) para etiquetas de información en segundo plano (*background*) y para la información usada de forma infrecuente, como pueden ser los indicadores de estado.
 - El rosa y magenta se emplean con moderación.
 - Se emplean los mismos colores para las notificaciones y para los atractores de atención. Los colores a emplear en los componentes de la interfaz que sean atractores de atención deben ser el rojo, amarillo y naranja. Las emergencias serán siempre en color rojo con parpadeo, las advertencias en amarillo o naranja y los avisos de menor prioridad en azul.
 - Los colores blanco, azul, amarillo y negro se emplean para los componentes situados en la zona de visión periférica de los usuarios que interactúen con la interfaz.
 - Se emplean los colores verde y rojo para visión focal.

Fondo	Texto
	Blanco, amarillo, verde, azul, magenta, rojo, ámbar, gris claro
Transparente	Negro, blanco, gris oscuro, verde, amarillo, ámbar
Transparente	Negro, blanco, gris claro, verde, amarillo, ámbar
Transparente	Blanco, amarillo, verde, azul, magenta, rojo, ámbar, gris claro

Tabla 12 Combinación de colores permitidos

- Comprobar que la interfaz del sistema de notificaciones utiliza colores transparentes si se superponen a la interfaz propia del control del sistema crítico. La evaluación debe comprobar que sólo se incluyen las transparencias definidas en la Tabla 12.
- Comprobar que la interfaz del sistema de notificaciones no utiliza letras minúsculas ni en las etiquetas ni en los mensajes de las notificaciones para mejorar la discriminación del ojo.
- Comprobar que no se producen recortes ('clipping') en las ventanas de las notificaciones si el tamaño del texto excede sus dimensiones.

El marco de evaluación contempla estas reglas y, en su informe de percepción sensorial, proporciona el cumplimiento de la interfaz del SNA con estas normas y estándares. A continuación se muestra un extracto de estos resultados aplicados al SNA de la planta de potencia del A400M:

Componente SINÓPTICO incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO Este componente alfanumérico incluye 4 colores. Evaluación correcta

Componente INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO BLANCO color de foreground NO apropiado para la visión focal

Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)

Componente INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO Este componente alfanumérico incluye 3 colores. Evaluación correcta

Componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)

Componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente ETIQUETA_TQ Este componente alfanumérico incluye 2 colores. Evaluación correcta
Componente ETIQUETA_TQ BLANCO color de foreground NO apropiado para la visión focal
El color de background NEGRO NO está permitido con el color de Notificación SIN_COLOR_DEFINIDO
Componente ETIQUETA_TQ incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente LECTURA_DIGITAL Este componente alfanumérico incluye 4 colores. Evaluación correcta
Componente LECTURA_DIGITAL Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)
Componente LECTURA_DIGITAL incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ Este componente con gráficos incluye 2 colores ---> OK
Componente AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)
Componente AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

3. Realimentación al usuario.

El marco de evaluación incluye no solamente la Complejidad y Sobrecarga de información específica de la notificación, sino que incluye también la eficacia en la realimentación de los mecanismos de cancelación de los “atractores de la atención” de los usuarios en la notificación de un evento y evalúa la realimentación del sistema de notificación después de que los usuarios realicen las acciones apropiadas a la notificación de un evento. Para ello el marco de evaluación comprobará que la información esencial, según el **principio de información mínima**, es presentada directamente al usuario de una forma directa a través del empleo de colores (como la mostrada en la Tabla 13) y atributos como el parpadeo (véase Tabla 13) para codificar la importancia de la información.

La evaluación de la realimentación al usuario de la interfaz de un SNA debe:

- Comprobar que se modifican los elementos que la componen, para asegurar al usuario que las acciones que conlleve una notificación (por ejemplo, reconocimiento, cancelación o acciones correctoras) son tenidas en cuenta.
- Comprobar que, si una acción del usuario relacionada con una notificación no ha podido ser tenida en cuenta, entonces se muestra una nueva notificación para indicarlo e informar por qué no se ha tenido en cuenta. (véase qué información debe contener una notificación en la sección 4.3.1).
- Comprobar que la interfaz de notificación proporciona al usuario realimentación sobre manipulación errónea de la notificación y que la interfaz permite corregir estos errores.

Color	Atributo	Notificación
Rojo	<i>Parpadeo</i>	Alertas y fallos en el sistema crítico que precisan acciones inmediatas del usuario
Ámbar	<i>Continuo</i>	Alertas y fallos en el sistema crítico que precisan reconocimiento del usuario, pero no precisa acciones inmediatas.
Verde	<i>Continuo</i>	Operación normal del sistema
Blanco	<i>Continuo</i>	Indicación de situación controlada y acciones ejecutadas, pero no corresponden a una situación normal
Cian	<i>Continuo</i>	Lista de acciones a ejecutarse por los usuarios.
Magenta	<i>Continuo</i>	Mensajes particulares y específicos de algunas situaciones

Tabla 13 Código de colores y atributos

Estas reglas están incluidas en la evaluación del parámetro1, Sobrecarga y complejidad de la información (véase sección 4.3.1).

4. Confirmación de acciones:

La evaluación de la confirmación de acciones debe:

- Comprobar que si una notificación conlleva una acción crítica, entonces la interfaz de notificación incluye una confirmación del usuario [ISO 9241-10 1996], y la atención del usuario es atraída inequívocamente al elemento (botón u otro componente) de confirmación.

5. Empleo de mayúsculas y minúsculas.

Transversalmente a la percepción sensorial, a la realimentación al usuario y a la confirmación de acciones el marco de evaluación incluye la evaluación del empleo de mayúsculas y minúsculas en la interfaz.

Debido al principio de información mínima, las notificaciones en aviónica están constituidas por abreviaturas pertenecientes al lenguaje del dominio y muy significativas para los pilotos. En estos casos, el reconocimiento de palabras aisladas es procesado mejor por los usuarios si están en mayúsculas [Vartabedian 1972]. Del mismo modo todas las etiquetas formadas por una o dos palabras deben estar en mayúsculas [Greteher y Baker 1972] y en minúsculas, o en una mezcla de mayúsculas y minúsculas, para notificaciones o mensajes de mayor longitud [Tinker 1955].

El tamaño de la letra empleado en la notificación debe permitir ser leída a la distancia a la que opera el usuario (véase la Tabla 14). La distancia normal de operación en aviónica se considera igual a 710 mm. y el tamaño normal de la letra igual a 5 mm. El tamaño de letra de la notificación debe ser un 25% mayor que el tamaño de letra más pequeño que sea legible a la distancia de operación [HFDS 2003].

Viewing distance	Minimum height
Less than 0.5 m (20 in)	2.3 mm (0.1 in)
0.5 - 1.0 m (20 - 40 in)	4.7 mm (0.2 in)
1.0 - 2.0 m (40 - 80 in)	9.4 mm (0.4 in)
2.0 - 4.0 m (80 - 160 in)	18 mm (0.75 in)
4.0 - 9.0 m (13 - 30 ft)	38 mm (1.5 in)

Tabla 14 Tamaño mínimo en función de la distancia en condiciones de iluminación normal [HFDS 2003].

Combinando es tabla con la Tabla 6 y aplicando el 25% de aumento para los datos críticos [HFDS 2003], los tamaños de letra permitidos para cada zona deben ser:

Lugar de instalación	Distancia al usuario (m)	Tamaño (mm)
V1-1	0.5 - 1.0	6
V1-2	0.5 - 1.0	6
V2-1	1.0 -2-.0	12
V2-2	1.0 -2-.0	12
V3-1	2.0 - 4.0	23
V3-2	2.0 - 4.0	23

Tabla 15 Tamaño en función del lugar de instalación.

A continuación se muestra un ejemplo de los resultados que pueden obtenerse con el marco de evaluación aplicados a la interfaz del SNA de la planta de potencia del avión A400M:

Componente LECTURA_DIGITAL el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8

Componente AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8

Componente DIAL_5_POSICIONES el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8

Componente SECTOR_GRIS el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8

Componente SECTOR_BLANCO el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8

Componente TENDENCIA_TQ el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8

4.7. Evaluación de instalación y seguridad del usuario

Un sistema crítico debe ser robusto y tolerante a fallos. Sus interfaces, incluidas las de los SNAs, deben ser también usables en cuanto que sean accesibles, lo que supone que, físicamente, deben estar localizadas en determinados lugares. En esta sección se describe como conducir la evaluación predictiva relacionada con la localización física de cada componente dentro de la interfaz.

Relacionado con la instalación de los distintos componentes de la interfaz de un SNA, se deben evaluar las siguientes características del sistema de notificación:

- Ergonomía ,
- Localización de los controles (*reachability*),
- Accesibilidad,
- Disposición (*layout*),
- Visibilidad.

Para ello, es preciso especificar previamente las medidas antropométricas típicas de un usuario, suponiendo además que el 90% de los usuarios serán hombres y el 10% mujeres. Se ha tomado como guía para estas medidas el estándar [MIL 743].

Las medidas antropométricas más relevantes para un sistema crítico son:

- La **línea visual**, para conocer dónde deben situarse los controles primarios del sistema crítico y los componentes del SNA que proporcionen notificaciones con la prioridad más alta. Este lugar debe ser la línea natural de la percepción focal. El sistema de notificación no debe interferir y debe situarse fuera de la línea visual, dentro del área de percepción periférica (véase la sección 2.7.2, Tabla 6 Clasificación de accesibilidad visual) o debe integrarse el SNA con el sistema de control principal.
- El alcance funcional de los usuarios sin moverse según las guías de la sección 2.7.2, y la Tabla 8 Clasificación de accesibilidad táctil de un componente según la prioridad de la notificación.
- La longitud desde la rodilla a la cadera, para las interfaces de los Sistemas de Notificación que precisen controles separados y que sean controlados con los pies. Pensemos por ejemplo en las cabinas de aviones de combate y en los monoplazas deportivos.
- La altura de la rodilla en la posición de 'sentado', para las interfaces de los Sistemas de Notificación que precisen controles separados y que sean controlados con los pies.

La evaluación incluida en el marco predictivo comprueba también que la caracterización de la interfaz ha tenido en cuenta las guías de la sección 2.7.2 y que la interfaz:

- **Minimiza los movimientos de ojos** entre los elementos de control del sistema crítico (teclado, ratón, *joy-stick*, etc.) y las pantallas empleadas para la notificación, lo que evitará distracciones en los usuarios que conlleven un aumento de los errores cometidos, aún en el caso de los usuarios más experimentados y meticulosos [Loukopoulus et al. 2001].
- Los usuarios pueden interactuar con la interfaz durante **periodos prolongados** de tiempo (1 hora) sin pérdida de prestaciones en los usuarios.

La evaluación predictiva cubierta en esta sección es limitada y debe confirmarse con el producto desarrollado. Con la interfaz finalizada, esta evaluación puede conducirse a través de cuestionarios.

Además de emplear los datos procedentes de la evaluación empírica con usuarios, los datos cuantitativos proporcionados por el marco de evaluación se pueden ajustar empleando también estos cuestionarios iterativos basados en escalas de Likert para conocer el grado de satisfacción de los usuarios con la interfaz real.

La escala de Likert empleada en estos cuestionarios comprende 5 valores y un espacio reservado para los comentarios libres o abiertos de los usuarios participantes:

- 2 Totalmente de acuerdo
- 1 De acuerdo
- 0 Neutro; no Aplicable
- -1 En desacuerdo
- -2 Totalmente en desacuerdo

2	1	0	-1	-2
Observaciones:				

Los cuestionarios a presentar a los usuarios serían:

[1] Ergonomía

Es fácil manipular cada control del sistema de avisos y alertas mientras permanece sentado.				
2	1	0	-1	-2
Observaciones:				

Los controles de los pies son fácilmente manipulables sin rigidez en las piernas o pies.				
2	1	0	-1	-2
Observaciones:				

Se puede mantener cómodamente en esta postura durante 1 hora.				
2	1	0	-1	-2
Observaciones:				

Puede ver todas las pantallas de avisos y alertas sin movimientos desagradables o posturas forzadas.				
2	1	0	-1	-2
Observaciones:				

La distancia desde la parte baja del puesto de control hasta la parte alta y de lado a lado es suficientemente grande para permitir de forma confortable las posiciones de las piernas.				
2	1	0	-1	-2
Observaciones:				

[2] Localización de los controles
 Con el operador sentado confortablemente:

Todos los controles del sistema de notificación están fácilmente al alcance de la mano adecuada.				
2	1	0	-1	-2
Observaciones:				

[3] Accesibilidad

Con las manos en los controles primarios, durante una operación típica del sistema, los controles de avisos y alertas son accesibles sin quitar las manos de los controles primarios.				
2	1	0	-1	-2
Observaciones:				

[4] Disposición de los controles

Todas las funcionalidades del sistema de avisos y alertas están agrupadas sin ambigüedades.				
2	1	0	-1	-2
Observaciones:				

Todas las funciones individuales del sistema de avisos y alertas están fácilmente localizadas.				
2	1	0	-1	-2
Observaciones:				

4.8. Formalización matemática

En esta sección se establecen las relaciones matemáticas que debe cumplir la evaluación de usabilidad de un SNA realizada a través de los parámetros críticos.

La interfaz correspondiente a un sistema de notificación empotrado en un sistema crítico puede caracterizarse con una matriz Λ (véase la Figura 30) en la que cada columna representa la interacción de un usuario con la interfaz en función de los parámetros críticos definidos en la sección 4.3: Interrupción (I), reacción (R), Comprensión (C), Complejidad y sobrecarga en la información (P1), Multitarea (P2), Comportamientos modales, múltiples opciones y hábitos (P3), Contexto y Situaciones anormales (P4), Degradación y Pérdida de rendimiento (P5), Interfaz compartida por más de un usuario (P6).

Esta matriz tendrá tantas columnas como usuarios intervengan en la interfaz. Cada elemento de la matriz es un elemento perteneciente a los números reales con un valor normalizado comprendido entre 0 (el parámetro crítico no es representativo en esta interfaz) y 1 (el parámetro crítico es muy relevante en esta interfaz). Es decir,

$$\Lambda = \begin{bmatrix} I_1 & \dots & I_n \\ R_1 & \dots & R_n \\ C_1 & \dots & C_n \\ P1_1 & \dots & P1_n \\ P2_1 & \dots & P2_n \\ P3_1 & \dots & P3_n \\ P4_1 & \dots & P4_n \\ P5_1 & \dots & P5_n \\ P6_1 & \dots & P6_n \end{bmatrix}$$

Figura 30 Matriz representativa

Siendo $\dim(\Lambda)$ igual al número de parámetros críticos P multiplicado por el número de usuarios N para cada elemento:

$$\{ \forall a_i \in \Lambda, a_i \in [0,1] \} \quad i \in [1, N] / N \equiv \text{máx. Número de usuarios}$$

La normalización de cada elemento a_i se consigue expresando cada parámetro crítico de modo porcentual. A continuación se definen los resultados porcentuales proporcionados por el modelo:

a. Complejidad y carga de información

$$\text{NúmeroSonidos}(\%) = \frac{\text{SonidosCorrectos}}{\text{SonidosTotales}}$$

$$\text{Onto log ía}(\%) = \frac{\text{NúmeroPalabrasIncluidasOnto} \log ía}{\text{NúmeroPalabrasTotales}}$$

$$\text{InformaciónEnviada}(\%) = \frac{\text{NúmeroBitsEnviados}}{\text{NúmeroBits Re gla7}}$$

$$P1(\%) = \text{InformaciónEnviada} + \text{Re dundancia} + \text{Onto log ía} + \text{NúmeroSonidos}$$

Ecuación 27 Parámetro 1 normalizado

b.Multitarea

$$Interferencias(\%) = \frac{Número de Interferencias Detectadas}{Combinaciones Totales}$$

$$P2(\%) = Carga de trabajo (\%) + Interferencias(\%)$$

Ecuación 28 Parámetro 2 normalizado**c.Comportamientos modales, múltiples opciones y hábitos**

$$P3(\%) = \begin{cases} 0 & \text{si no hay modos} \\ 1 & \text{si hay modos} \end{cases}$$

Ecuación 29 Parámetro 3 normalizado**d.Contextos y situaciones normales**

$$Inconsistencias(\%) = \frac{Heurísticas Cumplidas}{Heurísticas Totales}$$

$$Inhibición(\%) = \frac{Notificaciones Pendientes}{Notificaciones Enviadas}$$

$$P4(\%) = Inconsistencias(\%) + Inhibición(\%)$$

Ecuación 30 Parámetro 4 normalizado**e.Degradación y pérdida de rendimiento**

$$P5(\%) = \frac{T'}{T}$$

Ecuación 31 Parámetro 5 normalizado

siendo T el número de tareas realizadas satisfactoriamente en condiciones iniciales y T' el número de tareas realizadas tras la degradación.

f. Multiusuario

Este parámetro se normaliza según la distribución de tareas de **Kleiman** (no es posible realizarse de forma aislada para el sistema de notificación sin considerar el sistema de control empleado para desempeñar las tareas principales).

Los filtros (transparencias), funciones peso (características de los mensajes: color, tamaño, negrita, etc.) dependen de los escenarios o contextos de situación ("situational context"). Además estos filtros deben permitir la extensión y la especialización, y deben configurarse de forma dinámica. De este modo, la interfaz final

puede caracterizarse como una función del contexto en cada instante de tiempo y del usuario que interactúe con la interfaz en ese instante de tiempo:

$$I = C(t) \circ \Lambda(u)$$

Ecuación 32 Función caracterización de una interfaz

Y la función de evaluación Φ se aplica a la interfaz del SNA como

$$\phi(t, u) = C(t)\Lambda(u) \in \mathcal{R}^N$$

Ecuación 33 Función evaluación de la interfaz de un SNA

De este modo la evaluación produce un número real para cada uno de los N usuarios.

La evaluación de usabilidad de cualquier interfaz que quede totalmente caracterizada por estos parámetros críticos definidos en la sección 4.3 pertenece al subespacio S formado por todas las evaluaciones de interfaces correspondientes a las interfaces de los Sistemas de Notificación de los sistemas críticos. La evaluación de estas interfaces que se pueden expresar como combinación lineal de los parámetros críticos que forman este subespacio.

El conjunto P / $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6\}$ de los parámetros críticos son, por tanto, un sistema de generadores del subespacio S correspondiente a la evaluación de las interfaces de los Sistemas de Notificación de los sistemas críticos:

$$\forall \alpha \in S, \alpha = a_1p_1 + a_2p_2 + a_3p_3 + a_4p_4 + a_5p_5 + a_6p_6 / a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6 \in N$$

Denotando p1 el parámetro crítico 1 (Complejidad y Sobrecarga de información), p2 el parámetro crítico 2 (Multitarea), p3 el parámetro crítico 3 (Modos y hábitos), p4 el parámetro crítico 4 (Contexto y Situaciones anormales), p5 el parámetro crítico 5 (Degradación y Pérdida de rendimiento), p6 el parámetro crítico 6 (Multiusuario) y a1, a2, a3, a4, a5, a6 números naturales que sólo pueden tomar los valores en el rango [0,1]: $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6 \in \{0,1\}$

Los parámetros críticos generan así un subespacio S de interfaces incluidos en el espacio de todas las interfaces de usuario.

Debido a su naturaleza determinista, este subespacio tiene una relación de orden parcial entre los elementos que forman parte de este subespacio. Esta relación se designará en este documento como ' \prec ' y se lee "**precede**", indicando el orden en el que usuario debe interactuar con los componentes de las interfaces (tanto los que componen el control del sistema como las correspondientes a las interfaces de notificación).

En el capítulo anterior se vio que el orden de ejecución de las tareas que forman un plan debe ser único, lo que conlleva a una relación de orden parcial que cumple las siguientes propiedades y que permite definir a continuación esta relación de orden parcial:

Dadas tres interfaces distintas cualquiera de S, denotadas por α, β, γ :

(1) Propiedad transitiva:

$$\forall \alpha, \beta, \gamma \in S, \text{ si } \alpha < \beta \text{ y } \beta < \gamma \Rightarrow \alpha < \gamma$$

Si el usuario debe interactuar con la interfaz α antes que con la interfaz β y además la interacción con la interfaz β debe ser anterior a la interacción con la interfaz γ , entonces el usuario debe interactuar con la interfaz α antes que con la interfaz γ .

(2) **Propiedad antisimétrica:**

$$\forall \alpha, \beta \in S, \text{ si } \alpha < \beta \Rightarrow \neg(\beta < \alpha)$$

Si el usuario debe interactuar con el componente de la interfaz α antes que con el componente de la interfaz β entonces no es posible que el usuario interactúe con el componente de la interfaz β antes que con el componente de la interfaz α .

(3) **Propiedad irreflexiva:**

$$\forall \alpha \in S \Rightarrow \neg \alpha < \alpha$$

No es posible que el usuario interactúe con la interfaz α antes que con la interfaz α sin ninguna consecuencia.

(4) Todo elemento de S **no es idempotente:**

$$\forall \alpha \in S \alpha n \neq \alpha / n \in N$$

El resultado de la interacción de un usuario con una interfaz α depende del número de veces que interactúe con la interfaz, y el resultado final depende del número de veces que el usuario haya interactuado con la interfaz.

Esta relación de orden parcial permite definir reglas de interacción entre los componentes de una interfaz de SNA y por agregación, entre varias interfaces. De este modo, también es posible realizar la evaluación predictiva sin conocer las tareas primarias a las que se asocia el SNA.

Sea SI el conjunto de todas las interfaces resultantes de todas las posibles combinaciones lineales de un conjunto finito C de componentes IHC con

$$C = \{c_i, 1 \leq i \leq n\} \text{ y } SI = \{I_j / I_j = \sum \lambda_i c_i / \lambda_i \in [0, 1]\}$$

Entonces, para el conjunto C se cumple con respecto al operador evaluación (\bullet) de dos componentes IHC (denotado por $c_i \bullet c_j$) que:

1. **Propiedad conmutativa:**

$$\forall c_i, c_j \in C \Rightarrow c_i \bullet c_j = c_j \bullet c_i$$

La evaluación de un conjunto de interfaces de SNA es independiente del orden en que se realice la evaluación.

2. **Propiedad asociativa:**

$$\forall c_i, c_j, c_k \in C \Rightarrow c_i \bullet (c_j \bullet c_k) = (c_i \bullet c_j) \bullet c_k$$

La evaluación realizada sobre varias interfaces de SNA puede agruparse según criterios de facilidad de procesos o disponibilidad de los modelos de los componentes.

3. **Propiedad distributiva** respecto a la redundancias:

$$\forall c_i, c_j, c_k \in C \Rightarrow c_i \bullet (c_j + c_k) = (c_i \bullet c_j) + (c_i \bullet c_k)$$

Si la función ‘+’ denota la existencia de las redundancias presentes en una interfaz de SNA, entonces la evaluación de tres componentes (siendo dos de ellos redundantes) puede representarse como dos evaluaciones redundantes de los componente implicados.

4. **Elemento inverso:**

$$\forall c_i \in C \exists c_j \in C / c_i \bullet c_j = \emptyset$$

Representa el efecto nulo sobre el SNA: todo componente tiene un anti-componente que permite recuperar el estado inicial del sistema, como sucede, por ejemplo, con la opción deshacer de las interfaces. En un SNA representa la opción que permite limpiar o inhibir cualquier notificación. La evaluación de estos dos componentes no debe tener ningún elemento común; la evaluación de este componente inverso es igual a 0: su eficacia es nula ya que no proporciona ninguna información, útil o no, al usuario.

4.9. Quién debe llevar a cabo la evaluación

Tradicionalmente, la evaluación puede ser llevada a cabo por [Mack y Nielsen 1994]:

- especialistas en usabilidad;
- desarrolladores de software con conocimientos de interfaces gráficas;
- usuarios finales con conocimiento de las tareas que pueden llevarse a cabo con la interfaz; y
- otro tipo de profesionales (diseñadores de sistemas críticos para aviónica ...)

Los usuarios reales son costosos y difíciles de encontrar, mucho más si se trata de usuarios muy escasos y especializados como los pilotos. Además en numerosos estudios se ha descubierto que muchos problemas de usabilidad son pasados por alto en las pruebas de usabilidad con usuarios (*user testing*), pero son detectados por métodos predictivos y de inspección; aunque también es cierta la situación contraria, problemas de usabilidad no descubiertos por inspección o análisis y que han sido encontrados por los usuarios [Mack y Nielsen 1994].

La capacidad de encontrar un problema de usabilidad por parte de un usuario viene dado por la Ecuación 34 [Nielsen y Landauer 1993]

$$P(i) = N[1 - (1 - \lambda)^i]$$

Ecuación 34 Capacidad de un evaluador de encontrar un problema

Siendo P el número de problemas de usabilidad encontrados, i el número de usuarios del test, N el número total de problemas de usabilidad existentes y λ la

probabilidad de encontrar un problema por parte de un usuario o de un modelo de evaluación.

Un modelo o un usuario será tanto mejor para encontrar problemas de usabilidad cuanto más próximo se encuentre λ a la unidad. El valor de λ para el marco de evaluación desarrollado en esta tesis es 1 para las interfaces evaluadas puesto que los problemas de usabilidad eran conocidos a priori en las evaluaciones empíricas con usuarios y el modelo predictivo se ha desarrollado para detectar todos los problemas de usabilidad conocidos.

En trabajos posteriores, con la aplicación del marco de evaluación a otras interfaces aún no construidas y de las que no se conozcan todos los problemas de usabilidad, se puede encontrar un valor de λ más fiable y extensible a otras interfaces.

Al contrario de lo que sucede con cualquier otro método de evaluación (experimentación, investigación o sondeos e inspección) en los que se precisan expertos de usabilidad y usuarios, el marco de evaluación desarrollado en esta tesis puede ser empleado por:

- expertos en el diseño de sistema críticos sin ningún conocimiento en diseños de interfaces de sistemas de notificación;
- diseñadores de interfaces sin ningún conocimiento de sistemas de notificaciones, ayudados por el conjunto de informes ofrecido por el modelo predictivo, desde las etapas más tempranas del diseño, inclusive para la definición y elaboración de requisitos específicos para la interfaz del sistema de notificación; o
- certificadores de interfaces de sistemas críticos con la obtención de datos objetivos y cuantitativos acerca del cumplimiento de los estándares aplicables a cada interfaz.

4.10. Patrones de evaluación de Sistemas de Notificación para sistema críticos

En esta sección se introducen los patrones de evaluación como estrategias que solucionan determinadas cuestiones dentro del marco de evaluación como una de las aportaciones de esta tesis.

El marco de evaluación desarrollado en esta tesis permite realizar la evaluación de la interfaz ya construida con patrones de evaluación para interfaces de SNAs basados en la evaluación de los parámetros críticos.

No es el objetivo de esta tesis desarrollar cada uno de los patrones de evaluación propuestos, dejándose este desarrollo para trabajos posteriores.

Por **patrones de evaluación** debería entenderse la instanciación del marco de trabajo desarrollado en esta tesis para cada componente IHC. De este modo, cada componente IHC incluye en su interfaz sus propios métodos de evaluación en función de la cuestión relacionada con los parámetros críticos que intenta solucionar, la teoría cognitiva que lo soporta y las heurísticas a aplicar.

Los patrones de evaluación de IHC deben contemplar, como propiedad más crucial ser “soporte para la actividad humana” para la que se han diseñado [Mayhew 1999]. Sin embargo, no solamente debería evaluarse la **usabilidad**, sino también la **comunicabilidad** en los patrones en los que intervienen varios usuarios y en los que el usuario forma parte de la definición del componente IHC.

Los patrones de evaluación de SNAs deben seguir una evaluación **sumativa** a nivel de componente, seleccionado por sus características individuales, listo para su uso, y **formativa** tras su integración con otros patrones en el proceso de desarrollo de un producto. Por tanto, lo ideal sería realizar una evaluación formativa para los componentes IHC en tanto dura el desarrollo de una versión y evaluaciones sumativas en los Sistemas de Notificación para los que sea posible la competición de varios patrones IHC.

La evaluación formativa puede tener lugar, por ejemplo, en todos los procesos del ciclo V&V, que se describirán en la sección 5.4, en tanto que la formación sumativa puede

llevarse a cabo en la fase de mantenimiento, instalación y en los diseños de nuevas versiones.

En un nivel superior de aplicación, la evaluación debe ser básicamente formativa (en varias iteraciones) en la vida del avión en el que se aplique el componente IHC, y sumativa para aviones de gama similar o futuras versiones de nuestro componente IHC. La evaluación experimental que se lleve a cabo permitirá refinar los valores individuales de cada componente y verificar la estrategia de cada patrón de evaluación.

Cualquier patrón de evaluación de los componentes IHC debe responder a un objetivo básico y debe proporcionar medidas (cualitativas o cuantitativas) relacionadas con el objetivo que lo origina. A continuación se enumeran las principales cuestiones relacionadas con los parámetros críticos que dan origen a diversos patrones de evaluación:

1. Medir el grado éxito del diseño. Los patrones de evaluación deben responder con éxito a la cuestión: ¿Puede nuestro sistema resolver la situación para la que se diseñó?. El cumplimiento de este aspecto es una condición necesaria para poder continuar con el resto de la evaluación y debe ser incluido en la estrategia de todos los patrones de evaluación.
2. *Parámetro 1: Sobrecarga y Complejidad de la información.* El patrón debe incluir una estrategia para evaluar la información proporcionada por un componente y responder a la cuestión: ¿Existe (y en qué grado) sobrecarga de información para los usuarios en la interfaz implementada por este componente?
3. Grado de éxito con un fallo en el sistema. El patrón debe incluir una estrategia para evaluar el comportamiento del sistema cuando se presente un fallo del componente y comprobar la tolerancia de la interfaz del SNA a un fallo único.
4. Grado de éxito con dos fallos en el sistema. El patrón debe incluir una estrategia para evaluar el comportamiento del sistema cuando se presente fallo doble del componente y comprobar la tolerancia de la interfaz del SNA a los fallos dobles.
5. *Parámetro 2: Multitarea.* El patrón debe incluir una estrategia para (o contribuir a) contabilizar el número de tareas que puede desempeñar un usuario y responder a la cuestión: ¿Cuántas tareas pueden realizar satisfactoriamente y de forma simultánea los usuarios que interaccionen con este componente de la interfaz del SNA?
6. El patrón debe incluir una estrategia para evaluar si el número de usuarios para los que se diseñó la interfaz pueden realizar satisfactoriamente todas las tareas para las que se diseñó en cualquier tipo de circunstancia (situaciones degradadas y de emergencia) y durante largos períodos de tiempo que conlleven cansancio y pérdida de rendimiento para responder a la cuestión: ¿Cuántos usuarios son necesarios para una interacción satisfactoria con la interfaz?. También es necesario incluir una estrategia para evaluar cómo influyen en la interfaz el aumento del número de usuarios que interaccionan al mismo tiempo o cómo se degrada la interacción con la interfaz con la indisposición de alguno de los usuarios.
7. *Parámetro 3: Modos y hábitos.* El patrón debe incluir una estrategia para comprobar que no existen modos ni cuasimodos en la interfaz y responder a la cuestión: ¿Puede un mal hábito (específico de esta interfaz o inferido de otras interfaces) en el uso de la interfaz conllevar situaciones catastróficas?
El patrón debe incluir una estrategia para comprobar el uso de modos a través de la existencia de más de una trayectoria posible para conseguir los objetivos.
8. *Re-entrenamiento:* Debe cuidarse que un componente IHC ya usado por el usuario minimice el re-entrenamiento posible en una nueva interfaz en la que se use este componente. El patrón debe incluir una estrategia para medir el uso previo necesario en una escala de medida que varíe desde “No necesita re-entrenamiento” hasta “La experiencia previa en sistema anteriores no aporta nada”.

Si el componente IHC cambia drásticamente un paradigma de interacción que ha funcionado durante muchos años en situaciones de emergencia y ha sido empleado por miles de usuarios, nos encontraremos con un elevado grado de rechazo por los usuarios y las organizaciones a las que pertenecen los usuarios, obligadas a cambiar los planes de entrenamiento que llevan aplicando durante años. Todo ello contando con que el componente funcione perfectamente en los casos de emergencia.

El patrón debe responder a la cuestión: ¿Cuál sería la reacción de los usuarios con años de experiencia en situaciones de emergencia con los sistemas antiguos?

9. *Parámetro 4: Contexto y Situaciones anormales.* El patrón debe incluir una estrategia para medir latencias y tiempos de reacción en condiciones normales, en situaciones degradadas y en situaciones de emergencia.
10. *Parámetro 5: Degradación y Pérdida de rendimiento.* El patrón debe incluir una estrategia para medir grado de acoplamiento entre usuarios, respondiendo a las cuestiones: ¿Cuál es el tiempo máximo permitido sin que el usuario sufra degradación en forma de errores y disminución de su rendimiento en la interacción con la interfaz? ¿Qué mecanismos (confirmaciones, repeticiones, etc) incluye el componente para paliar la degradación?
11. *Parámetro 6: Multiusuario.* El patrón debe incluir una estrategia para medir grado de acoplamiento entre usuarios, respondiendo a las cuestiones: ¿Qué porcentaje de tareas pueden hacerse independientemente? ¿Qué porcentaje de tareas pueden hacerse con un único usuario? ¿Durante cuánto tiempo?
12. El patrón debe incluir una estrategia para medir la escalabilidad de la interfaz para un número mayor de usuarios que interaccionen con un mayor número de componentes de este tipo.
13. El patrón debe incluir una estrategia para medir la velocidad con la que se realizan las actividades con este componente (tiempo de consumo de la CPU por interacción) y el número de errores realizados por el usuario en el desempeño de las actividades ofrecidas por este componente.
14. El patrón debe incluir una estrategia para mostrar su nivel de accesibilidad.
15. Otros factores necesarios, no de usabilidad, que deben ser contemplados por los patrones de evaluación son:
 - Robustez;
 - Facilidad de mantenimiento;
 - Facilidad para generar nuevas versiones;
 - Seguridad contra los *intrusos*;
 - Aceptación social;
 - Cumplir los objetivos del presupuesto.

Capítulo 5

5. Evaluación de la propuesta

El propósito de este capítulo es la evaluación de la propuesta en aras de comprobar el grado de consecución del objetivo establecido en la sección 1.2: “desarrollar de un marco de trabajo para la evaluación predictiva de Sistemas de Notificación en aviónica que pueda aportar datos, cualitativos y cuantitativos”. Dado que la solución propuesta tiene dos vertientes, una conceptual y otra práctica, es necesario realizar dos tipos de evaluación: formal y empírica. Se evalúa el objetivo de esta tesis descomponiendo la evaluación en:

1. Automatización del marco de evaluación propuesto.
2. Validación formal del marco.
3. Validación empírica del marco de evaluación.
4. Aplicación a un ciclo de diseño en aviónica.

En el resto de este capítulo se describen detalladamente los puntos anteriores.

5.1. Automatización del marco de evaluación propuesto.

El marco de evaluación se basa en un modelo predictivo establecido a partir de las principales heurísticas, estándares y principios de diseño aplicables a las interfaces en aviónica y de las relaciones matemáticas que siguen los parámetros críticos basados en los modelos cognitivos. Para que este marco de evaluación pueda aplicarse de forma sistemática y se facilite la evaluación de diseños alternativos es preciso automatizar el marco.

Fundamentalmente, la automatización del marco de evaluación incluye un *parser* de entrada de la caracterización de la interfaz del SNA al modelo predictivo, una ontología²⁶ sencilla para el dominio de la información contenida en las notificaciones y las relaciones matemáticas que proporcionan valores cuantitativos en la evaluación predictiva acerca de los recursos empleados por el usuario en la interacción con la interfaz y el grado de cumplimiento de las heurísticas, estándares y principios de diseño. Así, el método de evaluación, basándose en el modelo de los recursos compartidos y en el desempaquetamiento de los parámetros críticos, a partir de las características de los componentes implicados en cada interfaz y de las características cognitivas de cada usuario, elabora los informes resultantes de la evaluación de cada parámetro crítico.

²⁶ Una definición de diccionario típica del término ontología la identifica con "la rama de la metafísica que estudia la naturaleza de la existencia". En las aplicaciones reales, sin embargo, una ontología es una entidad computacional, y no ha de ser considerada como una entidad natural que se descubre, sino como recurso artificial que se crea (Mahesh 1996). Una ontología ha de entenderse como un entendimiento común y compartido de un dominio, que puede comunicarse entre científicos y sistemas computacionales. Ésta última característica, el hecho de que puedan compartirse y reutilizarse en aplicaciones diferentes, explica en parte el gran interés suscitado en los últimos años en la creación e integración de ontologías (Steve et al. 1998).

El sinónimo más usual de ontología es *conceptualización*. Según la definición de Gruber (1993), una ontología constituye "a formal, explicit specification of a shared conceptualization". En esta definición, convertida ya en estándar, conceptualización se refiere a un modelo abstracto de algún fenómeno del mundo del que se identifican los conceptos que son relevantes; 'explícito' hace referencia a la necesidad de especificar de forma consciente los distintos conceptos que conforman una ontología, lo cual imponíamos como condición de representación conceptual; 'formal' indica que la especificación debe representarse por medio de un lenguaje de representación formalizado y compartida refleja que una ontología debe, en el mejor de los casos, dar cuenta de conocimiento aceptado (como mínimo, por el grupo de personas que deben usarla).

Una definición de ontología más concreta la ofrece Weigand (1997):

"An ontology is a database describing the concepts in the world or some domain, some of their properties and how the concepts relate to each other".

La automatización del marco se ha obtenido a partir de los siguientes pasos previos: caracterización de la interfaz de un SNA, implementación de las relaciones matemáticas entre la usabilidad, los parámetros críticos y los modelos cognitivos de usuario, e implementación de un repositorio de estándares y heurísticas.

A continuación se describen estos pasos:

(1) Caracterización de la interfaz de un SNA.

La automatización del marco de evaluación requiere que la interfaz de un SNA se exprese formalmente y pueda incorporarse a través de un parser a los algoritmos que forman el modelo predictivo.

La caracterización de la interfaz de un SNA se ha basado en la descomposición de la interfaz en componentes básicos descritos en la sección 4.5: diales, pitidos, valores numéricos, luces de colores, etc. La interfaz de un SNA se forma por agregación de estos componentes básicos (véase la Figura 9).

La caracterización formal se ha realizado en BNF (véase sección 4.5.1) y se ha implementado de forma natural en XML (véase Anexo II para la caracterización de la interfaz del A400M descrita en la sección 5.3.3).

Como parte de la caracterización se incluyen las tareas (atractor de atención, monitorización, comprensión y reconocimiento) que pueden realizarse con cada uno de los componentes, así como los distintos escenarios y contextos en los que puede tener lugar la interacción y los usuarios a los que está permitido el acceso en la interfaz. Los distintos escenarios son específicos de cada avión y no son exclusivos de la evaluación de usabilidad; en la sección 4.3 pueden verse los escenarios del A400M.

Todos los elementos que forman parte de esta caracterización se incluyen en un fichero XML con todos los componentes parametrizados (véase Figura 8 y Anexo II) en función de sus características propias, los escenarios y los contextos en los que intervienen, y las características de cada usuario en función de sus habilidades cognitivas y experiencia previa con el mismo tipo de interfaz.

Para evaluar cada una de las caracterizaciones se comprueba de forma automática que la correspondiente implementación en XML está bien construida y es conforme al DTD del Anexo IV, de modo que se comprueba que están definidos todos los elementos necesarios en la caracterización de la interfaz de un SNA, y además es validado con el esquema XSD del Anexo III según la versión [XML W3C 2004] para comprobar que cada elemento tiene un valor válido.

En el informe correspondiente a los componentes que constituyen la interfaz se indican los que son válidos y forman parte del proceso de evaluación. Si el resultado de estas comprobaciones no es satisfactorio, se muestra qué componente no está bien caracterizado y cuál es motivo.

(2) Implementación de las relaciones matemáticas entre la usabilidad, los parámetros críticos y los modelos cognitivos de usuario.

La implementación del marco de evaluación se basa en el diagrama de clases descritos en la Figura 10, en la que destaca el modelo predictivo del marco de evaluación constituido por las relaciones matemáticas establecidas en el capítulo 4.

La codificación de todo el marco de evaluación predictivo se ha realizado en Ada95 por:

- sus características de lenguaje de alto nivel que admite Orientación a Objetos;
- sus características de tiempo real y determinismo, necesarias para la implementación de los sistemas críticos;
- la facilidad para implementar la asignación dinámica de las prioridades de cada notificación dependiendo del contexto.

La implementación ha seguido una orientación de patrones de diseño que permite ampliar fácilmente las heurísticas a seguir, variar la caracterización de las interfaces, modificar

los escenarios de aplicación, aumentar los perfiles del número de usuarios que interactúan con un determinado componente, modificar o sobrecargarlos componentes del modelo predictivo de evaluación o aumentar el tipo de los componentes de la interfaz de modo que el marco se pueda extender a la evaluación de la interfaz de cualquier sistema de notificación.

(3) Repositorio de estándares y heurísticas.

La evaluación del SNA viene determinada parcialmente por las heurísticas, estándares y principios de diseño aplicados, y por ello es necesaria su automatización.

Una de las facetas cubiertas por el marco de evaluación desarrollado es proporcionar criterios objetivos basándose en criterios objetivos de cumplimiento de estándares y heurísticas como los enumerados en las secciones 1.1 y 4.2. En el marco desarrollado se ha incluido las heurísticas de la sección 4.2, aplicables a cualquier SNA y [HF-STD-001 2003e; MIL-PRF-22885 2002] como estándares específicos del A380 y A400M. Este cumplimiento también permite realizar evaluación crítica indicando que estándar o heurística no se cumple y qué debería incorporarse o subsanarse en el diseño para su cumplimiento. La automatización del marco de evaluación requiere que las heurísticas se incorporen al modelo predictivo como un parámetro más de la interfaz de un SNA. En el marco de evaluación desarrollado, las heurísticas, estándares y principios pueden ir incorporándose paulatinamente de forma individualizada para cada interfaz. De este modo, cada descripción de un SNA incluye el conjunto de heurísticas y estándares que deben verificarse en la evaluación predictiva.

Los medios de cumplimiento de estas heurísticas están incorporadas en el modelo predictivo y los resultados se recogen en los informes proporcionados por el marco de evaluación.

Se considera que la característica de automatización del marco de evaluación se ha conseguido satisfactoriamente al proporcionarse un fichero binario ejecutable que proporciona los informes de evaluación correspondientes a la interfaz descrita en XML según las heurísticas incluidas en el repositorio. La evaluación de la facilidad de aplicación del marco de evaluación puede abordarse como un trabajo futuro.

5.2. Validación formal del marco.

Como parte de la evaluación formal, es necesario determinar si los parámetros críticos seleccionados sirven para medir la usabilidad de la interfaz de un sistema de notificación en aviónica. Es decir, se trata de probar si los parámetros críticos permiten medir la usabilidad de la interfaz de un SNA.

La validación formal incluye evaluar el marco de evaluación propuesto por análisis, para determinar si realmente permite realizar las medidas para las que se concibió. Este análisis se centrará en:

- (1) El cumplimiento de las características propuestas por [Scheindewind 1992] y resumidas a continuación:
 - i. El marco de evaluación sirve para cualquier sistema de notificación de aviónica y no es específico de un único avión.
 - ii. El marco de evaluación está desarrollado desde el punto de vista del evaluador de interfaces de usuario. Es decir, el usuario entiende qué puede hacer con el marco de evaluación, cómo puede hacerlo y cuáles son los resultados esperados.
 - iii. Se siguen los criterios matemáticos de:
 - **Asociación:** el parámetro a medir puede medirse con la técnica elegida, y parámetros distintos tienen asociadas técnicas de medida²⁷ distintas;

²⁷ La palabra 'medida' puede usarse de diferentes formas [Jacquet y Abran 1994]:

- **Consistencia:** las técnicas de medidas proporcionan, de forma indirecta, valores válidos del parámetro a medir;
 - **Capacidad de discriminación:** la técnica de medida debe ser capaz de distinguir un conjunto mínimo de valores discretos relativos que permiten establecer una relación de orden entre ellos;
 - **Seguimiento:** la medida debe cambiar si ha cambiado el parámetro a medir;
 - **Predicción:** las medidas obtenidas en ciertos instantes de tiempo deben permitir predecir el valor del parámetro a medir en un instante posterior; y,
 - **Repetición:** si un parámetro no cambia su valor, entonces la técnica de medida debe arrojar el mismo valor medido.
- (2) El recubrimiento de todos los pasos propuestos en un método de medida, y descritos en el capítulo 4. También se debe incluir un análisis del conjunto de los parámetros críticos según los principios recogidos en [Charlton 2004]:
- **sensibilidad** (capacidad de medir una variación del objeto a medir);
 - **no-intrusivos** (capacidad de no interferir en la medida);
 - capacidad de hacer **diagnósticos** (basados en la naturaleza de la medida de los parámetros críticos);
 - **capacidad de ser implementados** en el marco de evaluación propuesto; y
 - capacidad de ser **aceptados por los usuarios** del marco de evaluación.

Así, el conjunto de parámetros críticos y el modelo predictivo se validan en una doble vertiente:

- Como sistema de generadores de todos los aspectos necesarios en la evaluación de usabilidad de un SNA. De este modo se consigue un conjunto de parámetros que garantizan la completitud de la evaluación, aunque no se pruebe que este conjunto de parámetros sea mínimo. El conjunto de parámetros críticos seleccionados además permite que el modelo predictivo sea repetible, verificable, conexo, genérico y moldeable cuantitativamente.
- Como una métrica validada a través del **criterio de validación** aplicado en su versión no-parametrizada. De este modo se prueba que los valores asociados a las medidas obtenidas (o procedentes de un modelo predictivo) con los parámetros críticos constituyen una medida indirecta de la usabilidad y de la eficacia de un SNA.
Esta validación, sin embargo, no pudo conseguirse con dos de los parámetros críticos (degradación y pérdida de rendimiento, e interacción multiusuario), de forma que se eliminaron del modelo predictivo y se volvió a revisar este paso. Como resultado de esta revisión, se limitó el ámbito de aplicación de los resultados obtenidos con el modelo predictivo en los siguientes aspectos: Interacción de un único usuario (piloto, copiloto y tercer tripulante) e incapacidad de aplicación del

-
- Para referirse a un método o técnica que permita asignar un valor numérico o simbólico a un objeto para caracterizarlo.
 - Para referirse a la aplicación de ese método o técnica.
 - Para referirse a los resultados de esa aplicación.
 - Explotación de datos.

En esta tesis las acepciones anteriores serán referidas como: técnica de medida, medida, resultado de la medida y análisis de los resultados de las medidas, respectivamente.

modelo predictivo para los escenarios que implica periodos de automatización (por ejemplo, piloto automático) y posterior control manual de la operación de vuelo.

Además si el modelo predictivo desarrollado en esta tesis es de utilidad, la evaluación de la métrica de usabilidad propuesta también debe ser validada a través de las funciones de usabilidad soportadas por la métrica. Estas funciones deben incluir funciones de valoración, control y predicción, que deben quedar encuadradas de forma natural en el marco de evaluación "V&V."

El proceso de validación se ha seguido según los pasos establecidos en [Scheindewind 1992]:

- (1) definición de factores de calidad de usabilidad,
- (2) definición de la métrica de usabilidad,
- (3) validez de la métrica,
- (4) definición de funciones de usabilidad,
- (5) cumplimiento del criterio de validez, y
- (6) proceso de validación de la métrica con casos reales.

A continuación se detalla el cumplimiento del proceso de validación de la métrica de usabilidad a partir de del conjunto de parámetros críticos seleccionado, y de la variación en la elección de los parámetros como resultado del proceso de validación.

(1) Definición de factores calidad de usabilidad

Un factor de calidad de la usabilidad (referido en esta tesis también como 'factor' o 'F') es un atributo o propiedad de la interfaz de un SNA que contribuye a su usabilidad, donde usabilidad o calidad de usabilidad o calidad de la interfaz es el grado que la interfaz de un SNA posee de una combinación deseada de estos factores.

Un factor puede tener distintos valores. La medida del factor F proporciona estos valores como indicadores intrínsecos de una interfaz, percibidos directamente por el usuario.

Factores de calidad de usabilidad son la eficacia, la eficiencia, la usabilidad en sí misma (incluyendo la facilidad de uso, la facilidad de aprendizaje y la realimentación), la cuota de atención necesaria, la coherencia y la escalabilidad.

Lo usual es disponer de una relación n a m entre los factores F y las métricas M: una métrica puede corresponder a varios factores, y un factor puede ser medido por varias métricas. En esta tesis, por simplificación se ha desarrollado para el marco de evaluación una relación $\langle 1$ a $n \rangle$ (véase Figura 31) entre la usabilidad y los parámetros críticos.

(2) Definición de la métrica de usabilidad

Una métrica de usabilidad (referida en esta tesis también como 'métrica' o 'M') es una función cuyos valores de entrada son valores de la interfaz del SNA y cuyos valores de salida pueden interpretarse como medida de F. **No proporcionan F directamente, pero estas funciones permiten relacionar los datos de salida de esta función con F.**

La hipótesis establecida en esta tesis es que la medida proporcionada por M (la medida de los parámetros críticos) puede establecerse como una medida de la usabilidad de los SNA.

(3) Validez de la métrica

Si con la métrica de usabilidad M se consigue deducir la usabilidad F, entonces M es una métrica válida de F. Para los SNA, si con los valores obtenidos con el modelo predictivo se consigue

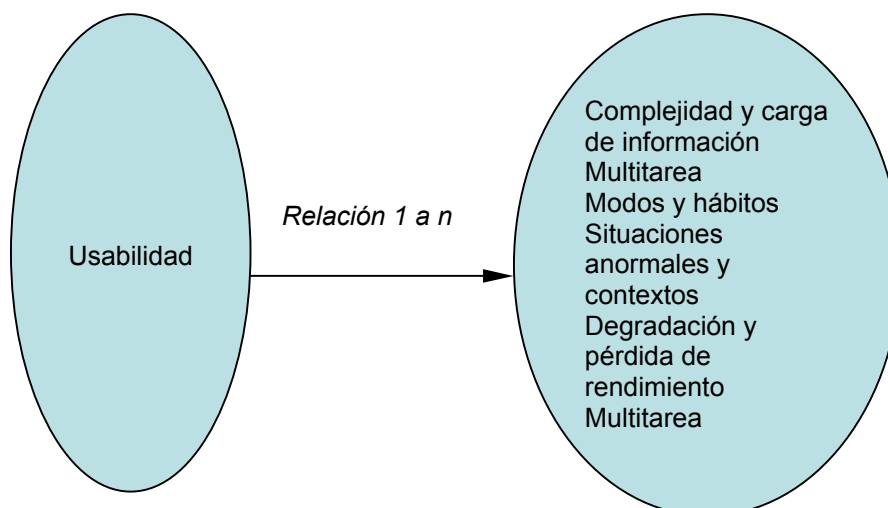


Figura 31 La usabilidad puede medirse indirectamente a partir de n parámetros críticos

una medida de F (usabilidad, eficacia, eficiencia,...), entonces el modelo basado en los parámetros críticos en una métrica válida.

Puesto que F es una medida directa, siempre será preferible a M, pero no siempre es posible disponer de la medida de la usabilidad de un SNA. Especialmente en las etapas más tempranas del ciclo de vida de la interfaz, cuando aún no se dispone del producto final, el proceso de medida es muy laborioso o poco fiable o no es factible.

Además, aunque sea posible la medida de F, puesto que el coste de encontrar y corregir errores crece rápidamente con el ciclo de vida, es muy ventajoso disponer de una métrica de usabilidad para interfaces de SNA desde las primeras etapas del desarrollo de la interfaz que permitir verificar que se han tomado decisiones acertadas en el diseño y que se ha elegido la mejor opción entre todas las alternativas posibles.

Para que una métrica sea válida es preciso validarla previamente. Formalmente una métrica validada M es aquella cuyos valores se ha demostrado que están **estadísticamente asociados** con los factores M correspondientes, o cuya relación es **de amplia aceptación o de uso histórico** como sucede con el índice de la bolsa para medir el desarrollo de la economía de un país [Scheindewind 1992; Newell 1990].

(4) Definición de funciones de usabilidad

En esta tesis, las funciones de usabilidad se definen como las actividades realizadas con el propósito de garantizar unos objetivos de usabilidad para la interfaz del SNA. Las funciones relacionadas con la metodología de una métrica son la **valoración** (o evaluación) de una alternativa de diseño, **controlar** el ciclo de vida de la interfaz de un SNA y realizar **predicciones** de usabilidad de los componentes de la interfaz de un SNA.

Las funciones de **valoración** (o evaluación) permiten realizar medidas relativas de usabilidad entre dos alternativas para la interfaz de un SNA. Los informes proporcionados por el modelo predictivo basado en los parámetros críticos pueden aplicarse en todas las etapas del ciclo de diseño, como por ejemplo, el ciclo "V&V.", comenzando por los informes de semiótica y comunicabilidad realizados por los diseñadores del sistema principal de control, continuando con los informes de redundancia y sobrecarga mental de los usuarios y terminando con los informes de percepción sensorial y los análisis de dominio y ontologías.

Las funciones de **control** permiten la evaluación de la usabilidad contra ciertos valores límites predeterminados. Con métricas validadas se pueden detectar componentes de la interfaz con una usabilidad inaceptable, y así controlar el desarrollo de la interfaz en sus distintas etapas. Así, por ejemplo, si en un paso a otro del ciclo en V se aumenta la carga de trabajo del usuario

implicará una pérdida en la usabilidad de la interfaz y no se podrá pasar a la etapa siguiente de diseño.

Las funciones de **predicción** permiten una previsión de las características finales de la interfaz y distribuir los recursos para el diseño de aquellas componentes de la interfaz que superen unos ciertos valores. También permiten predecir los tiempos de entrenamiento necesarios para una correcta operación con la interfaz.

(5) Cumplimiento del criterio de validez.

El siguiente paso en la validación consiste en comprobar la hipótesis relativa a la relación cuantitativa entre los factores y las métricas. El criterio de validez se basa en el **principio de validez**, que define la relación cuantitativa que debe existir entre F y M.

Según el principio de validez,

$$\{ R[M] \Leftrightarrow R[F] \} \Rightarrow \{ R[M'] \Rightarrow R[F'] \}$$

Siendo $R[M]$ una relación R sobre la métrica M para $V[PI, T1, M]$, siendo V el proceso de validación sobre el proyecto PI en el instante $T1$, siendo $R[F]$ una relación R sobre el factor F para $V[PI, T2, F]$, y siendo V el proceso de validación sobre el proyecto PI en el instante $T2$. Esta relación R puede ser una relación de orden entre las magnitudes de M y F ($[M1 < M2 < \dots < Mn]$ y $[F1 < F2 < \dots < Fn]$).

Para ello, $R[M] \Leftrightarrow R[F]$ debe estar **validado estadísticamente** con un nivel de confianza, o su relación debe ser **universalmente aceptada** en la literatura existente.

El principio de validez se basa en los siguientes criterios:

- (1) **Asociación**: la variación en F se explica por la variación de M y viene dada por R^2 (coeficiente de determinación), siendo R el coeficiente de correlación lineal y de modo que $R^2 > \alpha$.

Este criterio muestra si hay suficiente *dependencia lineal* ente F y M para poder usar M como una medida indirecta de F .

Este criterio soporta las funciones de valoración de la usabilidad permitiendo inferir que

$$(M_{i+1} - M_i) \propto (F_{i+1} - F_i)$$

Si se cumple que $Magnitud[M1 < M2 < \dots < Mn] \Leftrightarrow Magnitud[F1 < F2 < \dots < Fn]$.

En la siguiente tabla (Tabla 16) se indica que parámetros críticos cumplen el criterio de asociación en relación a la usabilidad. Que un parámetro no cumpla la relación lineal no implica que no esté relacionado con la usabilidad, sino que su relación no es lineal y puede

ser, por ejemplo, del tipo $\frac{1}{x}$, o que no se conozca.

	Parámetro crítico	Criterio de asociación con la usabilidad
1	Carga de Información	Relación logarítmica
	Redundancia en la información	Relación lineal
2	Carga de trabajo	Relación exponencial
3	Comportamientos modales, múltiples opciones	Relación lineal
4	Asignación de prioridades	Relación lineal

Tabla 16 Cumplimiento de los parámetros críticos respecto al criterio de validez

- (2) **Consistencia.** Este criterio muestra si hay suficiente consistencia entre la relación de orden M y la relación de orden de M para que M pueda considerarse una medida indirecta de F. Si los elementos de F están ordenados entonces se puede afirmar que los elementos de M también están ordenados.

Para ello debe cumplirse que el coeficiente de correlación entre F y M supera un valor mínimo.

Con este criterio se puede establecer de forma *relativa* si la interfaz de un SNA es mejor que otra. Que un parámetro no cumpla la relación lineal no implica que no esté relacionado con la usabilidad, sino que su relación no es lineal y, puede ser, por

ejemplo, del tipo $\frac{1}{x}$, o que no se conozca.

En la Tabla 17 se muestra el grado de cumplimiento de los parámetros críticos para el criterio de consistencia.

	Parámetro crítico	Criterio de consistencia con la usabilidad
1	Carga de Información	Relación logarítmica
	Redundancia en la información	Relación lineal
2	Carga de trabajo	Relación exponencial
3	Comportamientos modales, múltiples opciones	Relación lineal
4	Asignación de prioridades	Relación lineal

Tabla 17 Cumplimiento de los parámetros críticos respecto al criterio de consistencia

- (3) **Capacidad de discriminación:** El valor crítico de la métrica M_c debe ser capaz de discriminar, para un valor específico F_c entre todos los valores de F.

$$M_i > M_c \Leftrightarrow F_i > F_c \text{ y } M_i \leq M_c \Leftrightarrow F_i \leq F_c$$

Este criterio determina si un valor crítico M_c tiene suficiente poder discriminatorio para garantizar que es una medida indirecta de F_c .

Con este criterio se pueden identificar *tendencias* en el diseño de la interfaz, rechazar componentes que no superan un *valor mínimo* y, sobre todo, establecer *criterios de paso* a la siguiente etapa del ciclo de vida.

En la Tabla 18 se muestra el grado de cumplimiento de los parámetros críticos para el criterio de discriminación.

	Parámetro crítico	Criterio de discriminación con la usabilidad
1	Carga de Información	Correcta
	Redundancia en la información	Correcta
2	Carga de trabajo	Correcta
3	Comportamientos modales, múltiples opciones	Correcta
4	Asignación de prioridades	Correcta

Tabla 18 Cumplimiento de los parámetros críticos respecto al criterio de capacidad de discriminación

- (4) **Seguimiento:** M debe variar a la misma velocidad a la que varía F en distintos instantes de tiempo. Es decir, para un valor de α concreto se debe verificar que:

$$M_i(T_{j+1}) > M_i(T_j) \Leftrightarrow F_i(T_{j+1}) > F_i(T_j)$$

$$M_i(T_{j+1}) = M_i(T_j) \Leftrightarrow F_i(T_{j+1}) = F_i(T_j)$$

$$M_i(T_{j+1}) < M_i(T_j) \Leftrightarrow F_i(T_{j+1}) < F_i(T_j)$$

Este criterio, relacionado con el gradiente de M, puede utilizarse en el ciclo en V para mostrar las variaciones de la usabilidad con el tiempo, o de otro modo, en qué etapas del ciclo de desarrollo aumenta más rápidamente la usabilidad, y en qué etapas no hay variación, indicando que estas etapas pueden omitirse en el ciclo de vida puesto que no aumentan la usabilidad.

Los valores marcados como 'inversa' indican que se cumple para el parámetro considerado como $\frac{1}{x}$. En la Tabla 19 se muestra el grado de cumplimiento de los parámetros críticos para el criterio de seguimiento.

	Parámetro crítico	Criterio de seguimiento con la usabilidad
1	Carga de Información	Inversa
	Redundancia en la información	Directa
2	Carga de trabajo	Inversa
3	Comportamientos modales, múltiples opciones	Directa
4	Asignación de prioridades	Directa

Tabla 19 Cumplimiento de los parámetros críticos respecto al criterio de seguimiento

- (5) **Previsibilidad:** las medidas obtenidas en ciertos instantes de tiempo deben permitir predecir el valor del parámetro a medir en un instante posterior. Una función de M, $f(M)$, donde M se mide en el instante T1 debe predecir F en un instante posterior T2 con una precisión β . Es decir los valores *actual* F_a y *posterior* F_p deben predecirse con una precisión β

$$\beta \left| \frac{F_{aT2} - F_{pT2}}{F_{aT2}} \right| < \beta$$

Este criterio permite predecir, por ejemplo, el comportamiento de un componente en otras interfaces de SNA o en otros sistemas críticos.

En la Tabla 20 se muestra el grado de cumplimiento de los parámetros críticos para el criterio de seguimiento.

	Parámetro crítico	Criterio de previsibilidad de la usabilidad
1	Carga de Información	Previsible
	Redundancia en la información	Previsible
2	Carga de trabajo	Previsible
3	Comportamientos modales, múltiples opciones	Previsible
4	Asignación de prioridades	Previsible

Tabla 20 Cumplimiento de los parámetros críticos respecto al criterio de previsibilidad

- (6) **Repetición:** No es posible esperar que la medición de los parámetros críticos aplicada a todas las componentes proporcione valores correctos. Sin embargo, la tasa de éxito sobre el número total de intentos debe superar un cierto valor mínimo. Es decir, si N_{ie} es el número de mediciones realizadas con el éxito y N_i el número de veces que se aplica el modelo predictivo, entonces la proporción de aciertos debe superar un valor β . Se muestra a continuación el grado de cumplimiento de los parámetros críticos para el criterio de seguimiento.

$$\frac{N_{ie}}{N_i} > \beta$$

En el modelo predictivo automatizado, los resultados son totalmente predecibles aun bajo condiciones de generación aleatoria de notificaciones de distinta prioridad.

En la Tabla 21 se muestra el grado de cumplimiento de los parámetros críticos para el criterio de seguimiento.

	Parámetro crítico	Criterio de repetición para la usabilidad
1	Carga de Información	Repetible
	Redundancia en la información	Repetible
2	Carga de trabajo	Repetible
3	Comportamientos modales, múltiples opciones	Repetible
4	Asignación de prioridades	Repetible

Tabla 21 Cumplimiento de los parámetros críticos respecto al criterio de repetición

En esta tesis se considera probado que existe ése grado de confidencialidad, basándose en la amplia aceptación de estas relaciones de forma cualitativa (véase capítulo 4), entre:

- usabilidad y complejidad de información,
- entre usabilidad y multitarea,
- entre usabilidad y redundancia,
- entre usabilidad y asignación de prioridades (contextos y situaciones anormales),
- entre usabilidad y modos

No se considera probado este grado de confidencialidad entre usabilidad y degradación en la operación y pérdida de rendimiento, puesto que es más dependiente del usuario: Todo usuario, independientemente de la interfaz con la que interaccione, al aumentar el tiempo de operación presenta degradación y pérdida de rendimiento.

Del mismo modo tampoco se ha considerado probado el grado de confidencialidad entre usabilidad y el número de usuarios, por no existir evidencias suficientes en la literatura.

Por tanto, estos parámetros críticos, aunque formaban parte del conjunto inicial de la métrica, se han suprimido del modelo por no superar el cumplimiento del principio de validez.

(6) Proceso de validación de la métrica con casos reales.

Para que una métrica pueda validarse es necesario que exista un proyecto de validación V y un proyecto de aplicación A con el que se vuelve a revalidar la métrica.

El cumplimiento de este requisito plantea lo que se conoce como el **problema fundamental de la validación de métricas** y que se puede enunciar como: “¿son aceptables la diferencias en

productos, procesos, entornos y objetivos de usabilidad entre los proyectos V y A entre los instantes T1 y T2?”.

Este requisito impone que deben realizarse las medidas M y F tanto en los instantes T1 como en T2 para los procesos V y A.

En el siguiente capítulo, como continuación de la evaluación de la propuesta, se describe la aplicación del marco de evaluación desarrollado a las interfaces de las aviones A340, A380 y A400M.

En principio, se intentó validar la métrica con las interfaces de los aviones A340 y A380, y entonces aplicar y revalidar la métrica sobre el A400M. La validación con la interfaz del A340 sólo pudo realizarse de forma parcial puesto que no existe una evaluación de la interfaz (su usabilidad se ha demostrado con el uso), por lo que la validación se limitó a las interfaces de los aviones A380 y A400M. A pesar de no ser considerado un proyecto válido se incluye una reseña de las principales conclusiones de la evaluación de la interfaz del A340.

Las medidas de usabilidad del A380 se basan en medidas subjetivas realizadas con pilotos y los cuestionarios NASA-TLX, en tanto que las medidas de usabilidad del A400M se basan en medidas subjetivas de carga de trabajo, y también en medidas objetivas de electrocardiogramas y variaciones de las frecuencias de los latidos del corazón realizadas con pilotos en una maqueta del avión. Estas evaluaciones no han podido realizarse con la interfaz real y en los escenarios reales por no haber finalizado aún la construcción del avión, aunque la validez del modelo se ha contrastado con los diseños en las maquetas preliminares.

(7) Aplicación del marco de evaluación a varias interfaces

Dado que el resultado del análisis anterior permite su uso, para completar el proceso de validación descrito anteriormente es necesario validar el modelo de medida indirecta con, al menos, dos casos reales.

Por tanto, el siguiente paso en la evaluación del marco de evaluación propuesto consiste en:

1. Comprobar los resultados obtenidos con el modelo predictivo con los resultados obtenidos por los expertos de evaluación a través de pruebas de usabilidad con usuarios reales (pilotos), con el fin de contrastar la validez y realizar los ajustes necesarios. El marco de evaluación se aplicará a dos interfaces de avión ya existentes (aviones de pasajeros civiles, Airbus A340 y Airbus A380) y a una nueva interfaz de avión por desarrollar (la interfaz de control de los motores de un avión moderno de transporte militar A400M). Estas tres interfaces representan el pasado reciente, el presente y el futuro próximo.
2. Evaluar la factibilidad de integración del marco de trabajo desarrollado en el ciclo de diseño de una interfaz de notificación. El ciclo de diseño elegido es el ciclo “V&V” por ser uno de los más utilizados en aviónica.

En la sección 5.3 se describen las interfaces a las que se ha aplicado el marco de evaluación. Esta sección se divide a su vez en otras tres secciones que se corresponden respectivamente con la interfaz del A340, del A380 y del A400M. Cada sección incluye una descripción del SNA; una breve descripción de la evaluación llevada a cabo con los usuarios; los principales resultados de la aplicación del marco de evaluación desarrollado en esta tesis; y finaliza con un análisis comparativo de los resultados reales y los obtenidos con el modelo predictivo.

5.3. Validación empírica del marco de evaluación.

Como evaluación empírica del marco de evaluación se aplica el modelo predictivo a las interfaces de los SNA de la planta de potencia de tres generaciones de aviones: A340, A380 y A400M (en la Figura 9 se muestra la interfaz del A400M objeto de la evaluación), y se comparan analíticamente los resultados ofrecidos por el modelo predictivo con los resultados de la evaluación empírica llevada a cabo con usuarios en los SNA para el control de los motores de los

aviones A380 y A400M²⁸. La aplicación del marco de evaluación abarca escenarios²⁹ y contextos no cubiertos por la evaluación empírica. Así, por ejemplo, nunca se evalúa en condiciones reales el fallo simultáneo en los cuatro motores y las notificaciones que se producen en ese escenario.

Como consecuencia de la comparación realizada se refinó el modelo predictivo y se incorporó el principio de **reconocimiento antes que recuerdo** para adaptar el modelo predictivo a los resultados obtenidos en la evaluación empírica realizada con usuarios de las interfaces mencionadas en anteriormente.

5.3.1. Interfaz del A340.

En esta sección se presenta la interfaz del SNA de la planta de potencia del A340, se continua con los resultados obtenidos en la evaluación con usuarios, se prosigue con los resultados obtenidos con el marco de evaluación y se finaliza con el análisis de estos resultados, comparándolos con los resultados de la interfaz existente; además, se discuten las principales discrepancias.

5.3.1.1. Descripción de la interfaz.

En primer lugar se presenta la interfaz del SNA de la planta de potencia del A340 (véase la Figura 32) en la que se pueden apreciar los distintos componentes:

- Una pantalla que incluye los diales empleados para la monitorización permanente de datos sobre los que se añade las notificaciones con información redundante en forma de valores numéricos, símbolos especiales como metáforas de la palanca de gases y codificación del color, En esta pantalla también se puede apreciar una zona de la pantalla empleada exclusivamente para notificaciones textuales.
- Las luces de emergencia y advertencia, '*Master Warning (MASTER WARN)*' y '*Master Caution (MASTER CAUT)*', que se corresponde con las notificaciones ámbar y rojas. Estas luces proporcionan notificaciones redundantes a las mostradas en la pantalla descrita anteriormente.
- El último componente de esta interfaz son dos altavoces, situados cada uno a ambos lados de la cabina del avión, correspondiéndose con las posiciones de los usuarios. Las notificaciones sonoras empleadas consisten en mensajes de voz sintética, sonidos repetitivos y sonidos que se repiten una sola vez. La información incluida en estas notificaciones es redundante con la información proporcionada en los componentes anteriores. Su principal objetivo es añadir una dimensión ortogonal a las anteriores.

Esta interfaz es el origen de las interfaces del A380 y A400M (véase la sección 4.1 para tener una descripción de la interfaz del A400M).

Las principales características del diseño de esta interfaz son:

- El diseño está centrado, sobre todo, en requisitos procedentes de la **normativa de seguridad** en vuelo que prescribe agrupar todos los datos correspondientes al mismo sistema. En esta interfaz los datos correspondientes a un motor se agrupan en una disposición vertical, manteniendo la disposición horizontal como una metáfora de la posición de los motores en el avión.
- El usuario se encuentra en un segundo plano. De hecho, uno de los principales comentarios de los usuarios durante la evaluación muestra que éstos han tenido que adaptarse a la interfaz y no al revés. No obstante, y por razones diversas, con el paso

²⁸ La evaluación con usuarios en el A400M se ha llevado a cabo en una maqueta escala 1:1, denominada A/C -1, con la misma interfaz y un comportamiento muy similar al avión final. El avión aún no está finalizado y, por tanto, no pueden realizarse pruebas con los usuarios en escenarios reales.

²⁹ En este trabajo, se considera que un escenario es equivalente a un caso de uso [Caroll y Rosson 1992] con la interfaz, en tanto que el contexto se refiere a las circunstancias en las que se desarrolla el escenario.

de los años se ha convertido en el estándar de facto para los Sistemas de Notificación en aviónica.

- Se sigue el *principio de inhibición*, como una de las lecciones aprendidas de otras generaciones de aviones anteriores.
- Aparece el concepto de '**necesidad de conocer**' (*need to know*), dedicándose una parte de la pantalla exclusivamente para las notificaciones, en contra de la tendencia de la literatura actual, en la que los Sistemas de Notificación se limitan a pequeñas zonas en las esquinas de las pantallas. Según este principio también se muestran automáticamente todas las notificaciones importantes según el contexto (*context* o *situation awareness*, [Durso y Gronlund, 1999; Endsley y Garland, 1999]), aunque no las haya solicitado el usuario. La importancia de una notificación depende de su prioridad: un mensaje se considera importante si su prioridad es mayor o igual a 2 (véase clasificación de prioridades en la Tabla 11 Niveles de prioridad de una notificación).

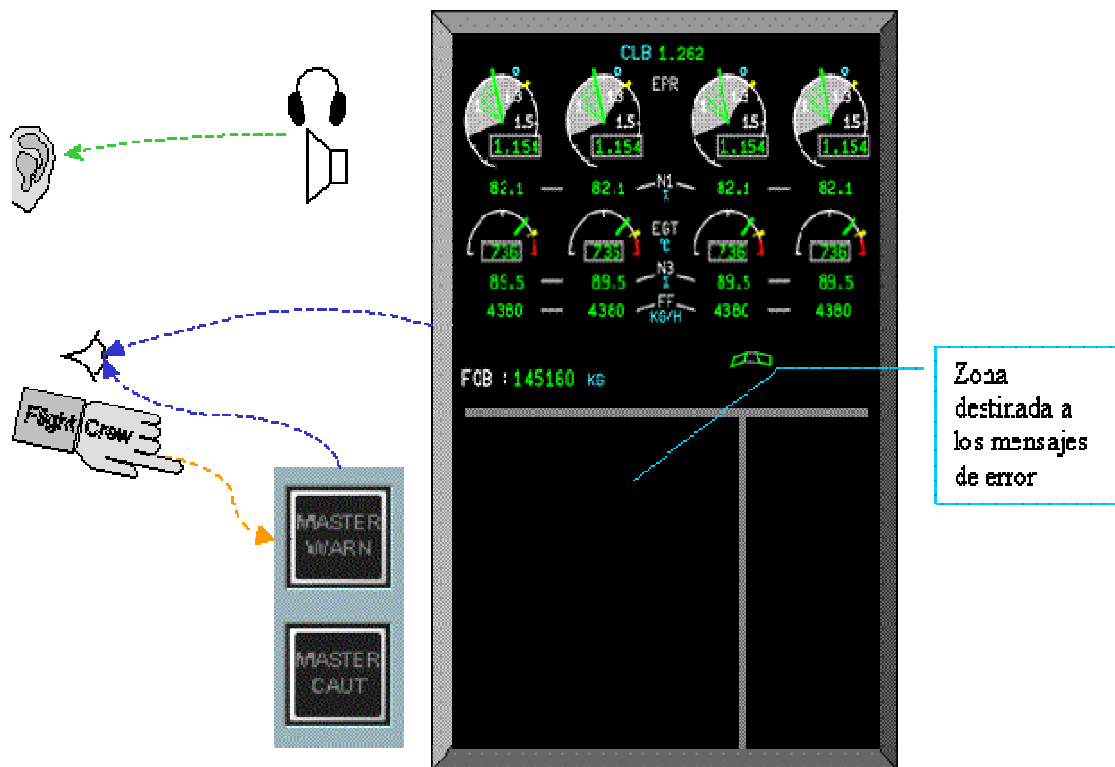


Figura 32 Interfaz del SNA del A340

5.3.1.2. Evaluación con usuarios.

En esta interfaz no se realizaron tests de usabilidad tal y como se entienden en la actualidad. La validez del diseño se limitó a inspecciones y revisiones basadas en heurísticas muy desarrolladas y específicas de aviónica, y sobre todo, en el buen juicio de los diseñadores del SNA. La usabilidad se ha ido demostrando con las horas de uso en escenarios reales. De este modo, en toda la vida del avión, por ejemplo, se comprobó que un gran porcentaje de las notificaciones (20-30%) no se habían recibido en ningún momento; que un porcentaje significativo había sido recibido entre 1-3 veces (15-20%); y que tan sólo un pequeño porcentaje entre 1-5% habían aparecido en cada vuelo.

5.3.1.3. Aplicación del marco de evaluación.

En esta sección se reproducen, clasificados por informes, los resultados más importantes (empleados en siguiente sección dedicada a las conclusiones) de la evaluación resultante de la aplicación del marco de evaluación a esta interfaz.

- Componentes

Componentes de la interfaz :

- 0. SINÓPTICO
- 1. INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO
- 2. VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO
- 3. ETIQUETA_TQ
- 4. LECTURA_DIGITAL
- 5. AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ
- ...Componentes hijos :
- 5. 0.DIAL_5_POSICIONES
- 5. 1.SECTOR_GRIS
- 5. 2.SECTOR_BLANCO
- 5. 3.TENDENCIA_TQ
- 5. 4.ACENTUAR_TQ
- 5. 5.POSICIÓN_PALANCA
- 6. SECTOR_GRIS
- 7. SECTOR_BLANCO
- 8. TENDENCIA_TQ
- 9. ACENTUAR_TQ
- 10. DIAL_5_POSICIONES
- 11. POSICIÓN_PALANCA
- 12. VALOR_PORCENTUAL_TQ
- 13. INDICACIÓN_PILOTO_AUTOMÁTICO
- 16. ETIQUETA_EGT
- 17. VALOR_PORCENTUAL_EGT
- 18. DIAL_3_POSICIONES_EGT
- 19. VALOR_NUMÉRICO_EGT
- 20. AGUJA_EGT
- ...Componentes hijos :
- 20. 0.DIAL_3_POSICIONES_EGT
- 21. CAJA_DE_TEXTO
- 22. MENSAJE_FWS
- 23. CAJA_ATRACCIÓN
- 24. MASTER_LIGHT
- 25. CAUTION_LIGHT
- 26. PANTALLA_DE_AVISOS
- 27. SINGLE_CHIME
- 28. REPETITIVE_CHIME
- 29. MENSAJE_VOZ

- Percepción sensorial y confirmación de acciones
- Parámetro 1: Complejidad y sobrecarga de información
 - Información transmitida
 - Semiótica

Componente ETIQUETA_TQ incluye abreviaturas
 Notificación :PWR 'pwr' Abreviatura incorrecta. No se encuentra
 en la lista de abreviaturas AP2866
 'pwr' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866

- Redundancia

Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 4.94 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 4.94 %
Mensaje : CAUTION con una carga de información adecuada
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 100.00 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 100.00 %
Mensaje : CAUTION con una carga de información adecuada

- Consistencia
 - Repetición de mensajes

Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente SINÓPTICO
Número de mensajes de voz. Evaluación correcta
Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta
componente SINGLE_CHIME
El número de mensajes auditivos excede el máximo permitido
Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente REPETITIVE_CHIME
El número de mensajes auditivos excede el máximo permitido
Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente MENSAJE_VOZ
El número de mensajes de voz excede el máximo permitido

- Parámetro 2: Multitarea
 - Sobrecarga en los usuarios
 - Sobrecarga en los componentes
 - Interferencia entre tareas
- Parámetro 3: Comportamientos modales, múltiples opciones y hábitos
 - Existencia de modos
- Parámetro 4: Contexto y prioridades
 - Principio de inhibición
 - Definición de estados de seguridad

5.3.1.4. Análisis comparativo y conclusiones.

Ante la ausencia de datos cuantitativos de la evaluación de esta interfaz, a continuación se discuten las principales conclusiones obtenidas a partir del análisis de los resultados proporcionados por el marco de evaluación desarrollado en esta tesis:

- El marco de evaluación incluye la evaluación de un mayor número de características que la evaluación realizada con los usuarios en esta interfaz.
- El principal resultado es la sobrecarga de información, con un excesivo número de notificaciones, acentuado por el hecho de estar siempre visibles al usuario.
- No se sigue el principio de *dark interface* ya que los mensajes permanecen visibles hasta que son reemplazados en una estructura de memoria cíclica (*ring buffer*).
- El marco de evaluación predictivo también muestra la posibilidad de simplificar la interfaz incluyendo las luces 'Master' y 'Caution' situándolas en la misma pantalla donde se producen las notificaciones.

5.3.2. Interfaz en el A380

En esta sección se presenta la interfaz del SNA de la planta de potencia del A380, se continua con los resultados obtenidos en la evaluación con usuarios, se prosigue con los resultados obtenidos con el marco de evaluación y se finaliza con el análisis de estos resultados, comparándolos con los resultados de la interfaz existente; además, se discuten las principales discrepancias.

5.3.2.1. Descripción de la interfaz.

En esta sección se describe la interfaz actual del SNA de la planta de potencia del A380 (véase Figura 33) objeto de evaluación.

Al igual que en el caso anterior, la interfaz está formada por:

- La pantalla de la interfaz con los principales datos primarios (véase la Figura 34);
- Las luces 'Master' y 'Caution' redundantes para los mensajes de avisos y alertas;
- Los altavoces con información sonora redundante a los componentes anteriores sobre una dimensión ortogonal.
- Los avisos de emergencia local, de nueva incorporación con respecto a la interfaz del A340, situados en las palancas principales e individualizadas para cada motor (véase Figura 33).

Con respecto a la interfaz anterior, el principal objetivo en el diseño de esta interfaz es la máxima reutilización del diseño del A340, puesto que el diseño del A340 ya estaba validado basándose en las horas de vuelo acumuladas, y en un diseño ya aprobado por las autoridades de certificación a través de revisiones realizadas por expertos. Con la reutilización de la interfaz, además de reducir la etapa de diseño, se simplifica el costoso proceso de certificación de aeronavegabilidad y los usuarios no necesitan entrenamiento para una nueva interfaz.

Otra de las características fundamentales de este diseño con respecto al anterior es la supresión de todas las notificaciones a voluntad del usuario, aunque no haya desaparecido el evento que originó la notificación como implementación del principio de 'dark interface'.

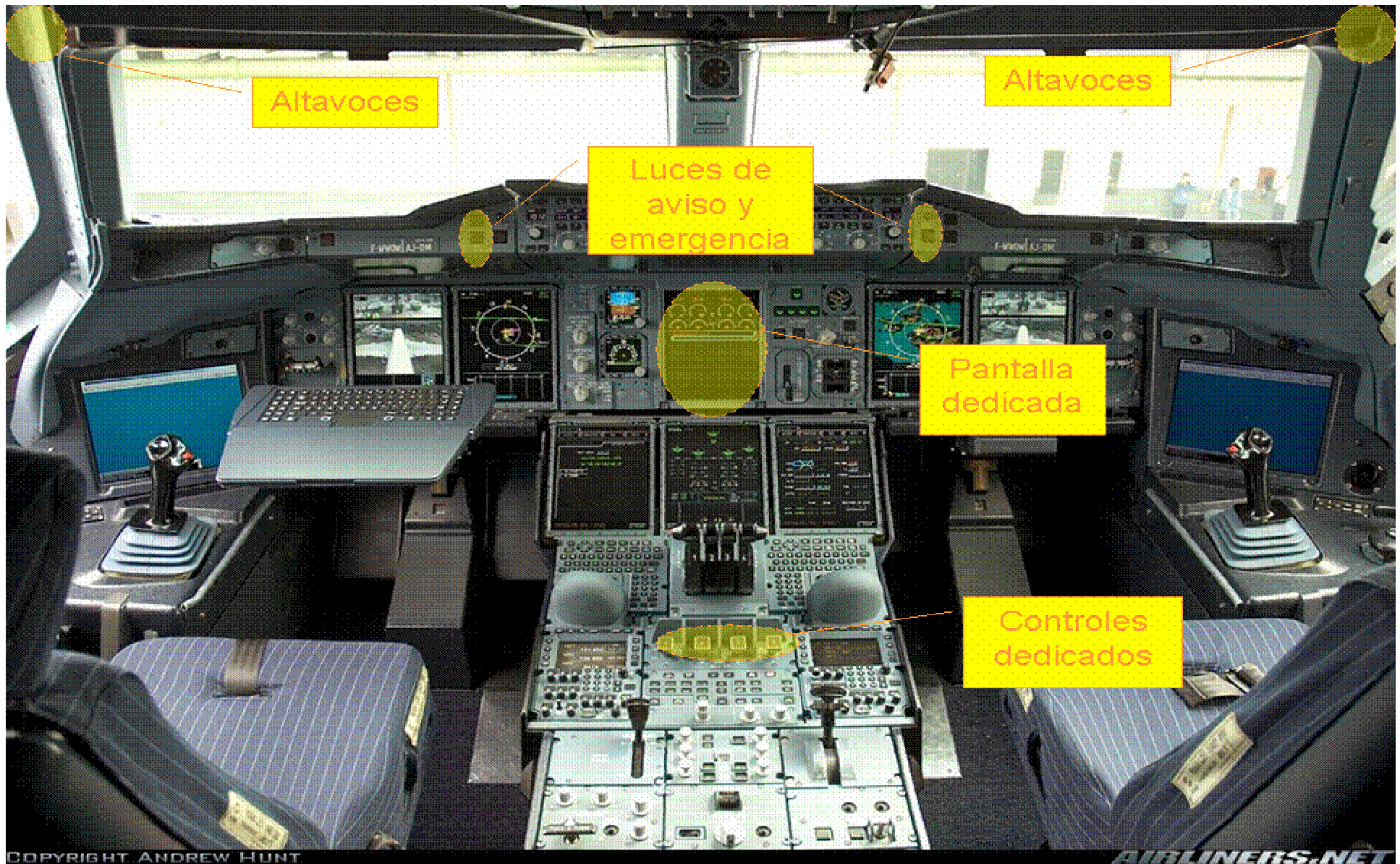


Figura 33 Cabina del A380

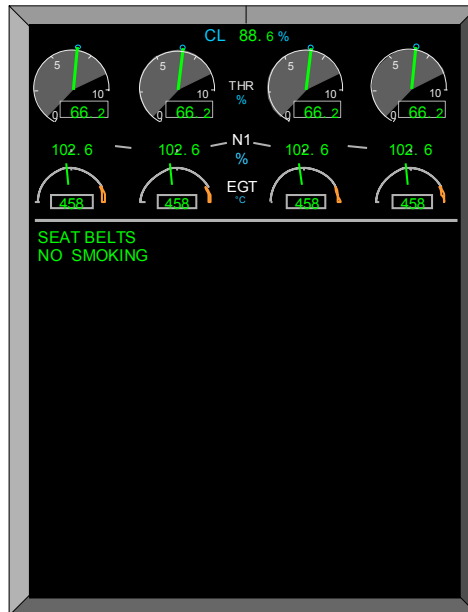


Figura 34 Detalle de los Parámetros primarios del SNA del A380

Como principal innovación respecto a las cabinas de todos los aviones anteriores, por primera vez se pasa a incluir sinópticos en *background* para las notificaciones (véase Figura 35), facilitando el **reconocimiento** del mensaje (véase sección 4.1) a través del uso de metáforas. De este modo se aumenta la redundancia de la información contenida en una notificación, a la vez que se disminuyen los recursos requeridos al usuario al facilitarse el reconocimiento.

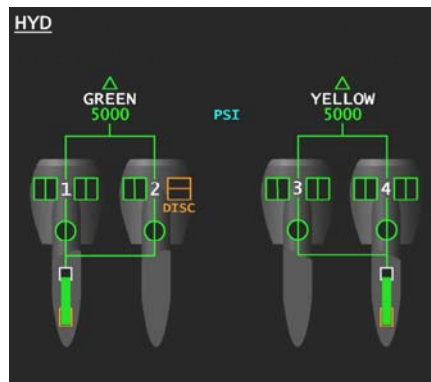


Figura 35 Fondo en notificaciones para asegurar el principio ‘reconocimiento antes que recuerdo’.

5.3.2.2. Evaluación con usuarios.

Por primera vez en esta generación de aviones, con esta cabina se realizó de forma sistemática una evaluación de usabilidad, no sólo por elementos aislados de la interfaz, sino de todo el diseño íntegro. El objetivo primero de esta evaluación es conocer si los usuarios pueden realizar toda la carga de trabajo asociada a todas y cada una de las tareas para las que se concibió esta interfaz, lo que permitirá determinar si 2 tripulantes son suficientes para controlar el avión. Por tanto,

Criteria	Rating	Weighting %	Score
Mental demand	40	18	7.2
Physical demand	24	4	1.0
Temporal demand	40	33	13.3
Effort	35	10	3.6
Frustration	14	9	1.2
Performance	40	26	10.2
NASA-TLX			36.5

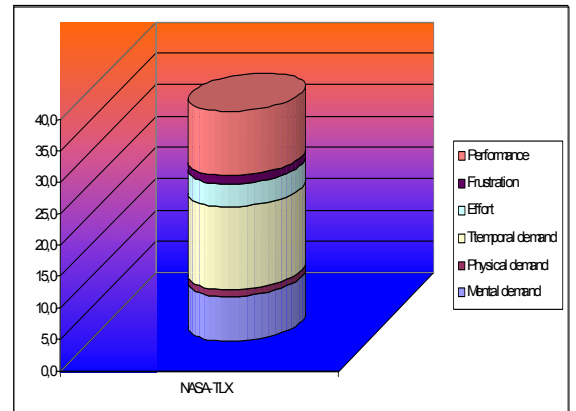


Figura 37 Resultados de la evaluación de usabilidad del A380 basada en medidas subjetivas realizadas con cuestionarios NASA-TLX

En la Figura 38 pueden verse los resultados de la evaluación con cuestionarios NASA-TLX categorizados por usuarios y los resultados subjetivos de la percepción de fatiga en la interacción con la interfaz, antes y después de recibir y tratar una notificación.

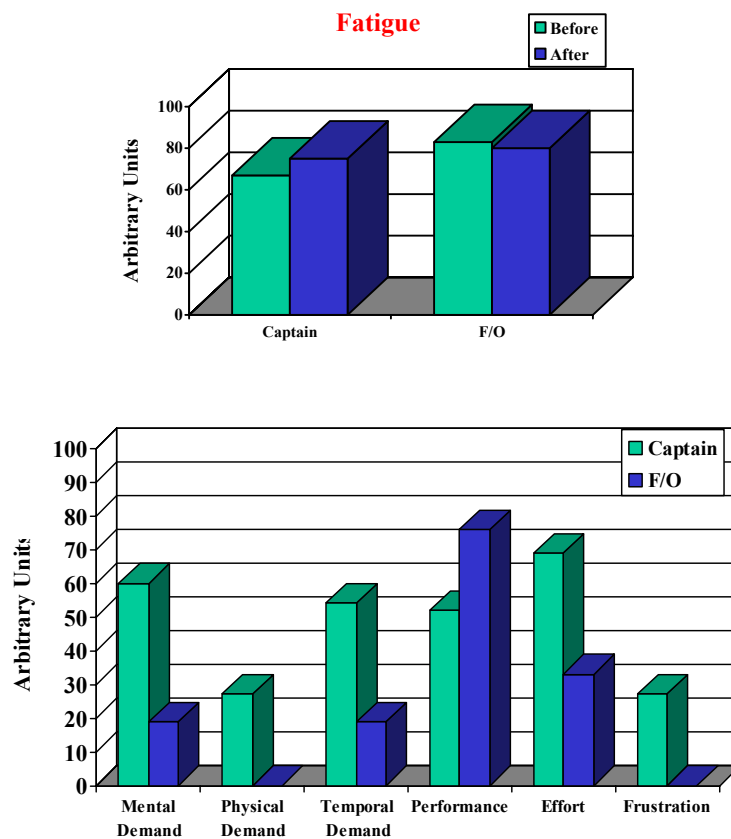


Figura 38 Resultado de la evaluación del A380 clasificada por usuarios

5.3.2.3. Aplicación del marco de evaluación.

En esta sección se reproducen, clasificados por informes, los resultados más importantes (empleados en siguiente sección dedicada a las conclusiones) de la evaluación resultante de la aplicación del marco de evaluación a esta interfaz.

- o Componentes
- o Percepción sensorial y confirmación de acciones

Componente DIAL_5_POSICIONES Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta

Componente DIAL_5_POSICIONES BLANCO color de foreground NO apropiado para la visión focal

Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)

Componente DIAL_5_POSICIONES incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

- o Parámetro 1: Complejidad y sobrecarga de información

- Información transmitida

- Semiótica

Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente SINÓPTICO

Número de mensajes de voz. Evaluación correcta

Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta

Número de mensajes de texto: 96 excesivo. Debe limitarse a 80

Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente MASTER_LIGHT

Número de mensajes de voz. Evaluación correcta

Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta

Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente CAUTION_LIGHT

Número de mensajes de voz. Evaluación correcta

Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta

- Redundancia

Diálogo :

con carga de información adecuada

Redundancia del dialogo : 100.00 %

Componente POWER_RATING_VALUE con demasiada carga de información :

3.30 . Debe rebajarse en 0.30 bits

Redundancia del patrón : 100.00 %

- Consistencia

- Repetición de mensajes

El mensaje ON_GROUND se repite 1vez

Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente REPETITIVE_CHIME

REPETITIVE_CHIME

Número de mensajes de voz. Evaluación correcta

- o Parámetro 2: Multitarea

- Sobrecarga en los usuarios

Usuario PILOTO : experto, pero no relacionado con esta interfaz

Carga de trabajo estimada en el contexto BASICO: 56.90%

Carga de trabajo estimada en el contexto

MALAS_CONDICIONES_METEREOLOGICAS: 56.90%

Carga de trabajo estimada en el contexto FALLOS_DEL_SISTEMA:
85.35%

La Carga de trabajo puede reducirse, como máximo, hasta 42,68%.
Tiempo estimado de entrenamiento para un piloto inexperto y no familiarizado con la interfaz 21.80 horas

- Sobrecarga en los componentes

.....Evaluando el componente: DIAL_3_POSICIONES_EGT...
..... Sin sobrecarga

- Interferencia entre tareas

Evaluando interferencias en el componente:
INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO...
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente
INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN
del componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO

- Parámetro 3: Comportamientos modales, múltiples opciones y hábitos
 - Existencia de modos

Componente ETIQUETA_TQ
Evaluación de modos correcta

- Parámetro 4: Contexto y prioridades
 - Principio de inhibición

Componente VALOR_PORCENTUAL_TQ Criticidad'A'atributos inadecuados.
Debe incluir 'parpadeante'

- Definición de estados de seguridad

Evaluación de estados: SINÓPTICO debe incluir un estado de seguridad

5.3.2.4. Análisis comparativo y conclusiones.

Los informes proporcionados por el marco de evaluación aplicados a esta interfaz muestran que los resultados **coinciden** en su mayor parte con el diseño de la interfaz y con los resultados de la evaluación empírica realizada con usuarios con la interfaz real.

A continuación se reproducen las conclusiones del análisis comparativo entre la evaluación empírica con usuarios y la evaluación resultante de la aplicación del marco de evaluación predictivo, al mismo tiempo que se discuten las discrepancias y los puntos de mayor interés:

1. Siguiendo el principio de **información mínima**, con respecto a la interfaz del A340, se han eliminado de la interfaz del SNA como parámetros primarios las indicaciones de N2³⁰ (empleada en la interfaz de de la planta de potencia de *Engine Alliance* ©), su equivalente N3³¹ (empleada en la interfaz de la planta de potencia de *Rolls Royce* ©) y la indicación de flujo de combustible. Estas simplificaciones se produjeron como consecuencia de los análisis del grupo de Factores Humanos y de los tests de usabilidad realizados por los pilotos.

A continuación se reproduce un extracto de los resultados relativos a la carga de información proporcionados por el marco de evaluación aplicado a esta interfaz:

Diálogo :
con carga de información adecuada

³⁰ N2 representa el momento en el eje intermedio de un motor turbofan.

³¹ N3 representa el momento en el eje de alta de un motor turbofan.

Redundancia del dialogo : 100.00 %
Componente POWER_RATING_VALUE con demasiada carga de información :
3.30 . Debe rebajarse en 0.30 bits
Redundancia del patrón : 100.00 %

Estos resultados indican que la carga de información no sobrecarga la memoria de corto alcance del usuario. No obstante, el marco de evaluación muestra que uno de los componentes, N1 (o relación de potencia, incluido como el componente POWER_RATING_VALUE) incluye demasiada información. Esta sobrecarga del 10% (0.30 sobre 3 bits) puede haber sido pasada por alto en las evaluaciones con usuarios, puesto que éstos son muy experimentados en este tipo de interfaces y precisan menos demanda de recursos por efecto de la automatización debida al entrenamiento y a la repetición [Wichens y Hollands 200] y por el principio de **reconocimiento antes que recuerdo** [Newell, 1990].

2. Se disminuye el número total de notificaciones (visuales + auditivas) a 127, aunque a pesar de esta reducción, el marco de evaluación indica que el número de notificaciones establecidas por los estándares, tanto textuales como auditivos continúa siendo excesiva (debido al elevado número de notificaciones textuales), tal como se muestra en el siguiente extracto de la evaluación:

```
Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente
SINÓPTICO
Número de mensajes de voz. Evaluación correcta
Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta
Número de mensajes de texto: 96 excesivo. Debe limitarse a 80
Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente
MASTER_LIGHT
Número de mensajes de voz. Evaluación correcta
Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta
Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente
CAUTION_LIGHT
Número de mensajes de voz. Evaluación correcta
Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta
```

3. Como principal conclusión obtenida en el análisis de la comparativa de los datos de esta evaluación predictiva con los datos proporcionados en las medidas subjetivas, los usuarios interaccionan con una demanda global de recursos situada en el rango 35-40%, como media entre el usuario principal (piloto) y el usuario secundario (copiloto) en los apartados de esfuerzo y demanda mental.

Por usuarios, el piloto sufre un 60%³² de carga mental y 69 unidades en esfuerzo. Para el copiloto estas cifras se reducen al 20% y 35 unidades respectivamente.

En la evaluación con los cuestionarios NASA-TLX, no se indica si estas demandas son permanentes, o varían de un instante a otro, o de un contexto a otro, tal y como seguramente sucede en la realidad, especialmente para las situaciones críticas y con notificación graves debidas a fallos en los motores. En la evaluación se indica únicamente un valor de demanda temporal cercano al 55% para el piloto y de un 20% para el copiloto.

Tampoco se indica si se trata de usuarios expertos o noveles en la interacción con la interfaz. Se supone, siguiendo la práctica habitual, que las evaluaciones fueron realizadas por pilotos expertos y acostumbrados a la interfaz.

Como aportación fundamental, los datos ofrecidos por el marco de evaluación predictiva permiten distinguir entre los distintos contextos y con distintos perfiles de usuarios. En concreto se ha ejecutado el marco de evaluación para usuarios expertos y se han obtenido los siguientes resultados:

```
Usuario PILOTO : experto, pero no relacionado con esta interfaz
Carga de trabajo estimada en el contexto BASICO: 56.90%
```

³² En los datos de la evaluación aparecen como unidades arbitrarias. Para la demanda de los recursos que posee un usuario, en esta tesis se asimilan a porcentajes, conservando las unidades arbitrarias para la frustración, el esfuerzo y la demanda mental y física.

Se observa que se ha obtenido un resultado porcentual del 56.90% frente al 60% de carga mental obtenido por la evaluación empírica, con una desviación de 3,10; esta desviación se considera aceptable al estar ponderada por la demanda temporal medida en los tests con usuarios, superior al 50%.

También se ha aplicado el marco de evaluación para dos contextos distintos de la operación normal y no incluidos en la evaluación con usuarios en escenarios reales. Estos contextos son: 'Malas condiciones meteorológicas' y 'Fallos en los motores'.

```
Carga de trabajo estimada en el contexto
MALAS_CONDICIONES_METEREOLOGICAS: 56.90%
Carga de trabajo estimada en el contexto FALLOS_DEL_SISTEMA:
85.35%
```

Los resultados muestran que la demanda de recursos es la misma en el contexto de 'Malas condiciones meteorológicas' que en el contexto de operación normal, justificado por el hábito de los pilotos expertos en este tipo de condiciones y el diseño del sistema crítico, diseñado precisamente para no tener diferencias de funcionamiento en estos contextos. Sin embargo, bajo condiciones de 'fallo en los motores' que conducen al apagado de los mismos, el marco de evaluación indica cantidades elevadas en la demanda de recursos y un peligro potencial de sobrecarga en el usuario. Esta situación no se ha evaluado en la interfaz real³³, pero presumiblemente ofrecería mayores cantidades en la demanda de recursos.

Para el copiloto se obtienen conclusiones similares. También, se ha ejecutado el modelo en los contextos anteriores, para un usuario inexperto en situaciones reales de vuelo, pero que ha tenido entrenamiento previo con maquetas: la evaluación predictiva muestra una demanda de recursos superior a la ofrecida por la evaluación subjetiva en todos los contextos, justificada por el alto grado de entrenamiento de los usuarios que intervienen en las evaluaciones empíricas.

```
Usuario COPILOTO : inexperto y familiarizado con esta interfaz
Carga de trabajo estimada en el contexto BASICO: 53.90%
Carga de trabajo estimada en el contexto
MALAS_CONDICIONES_METEREOLOGICAS: 59.89%
Carga de trabajo estimada en el contexto FALLOS_DEL_SISTEMA:
89.84%
```

El marco de evaluación también permite obtener datos relativos a la disminución de la carga de trabajo con el entrenamiento para distintos perfiles de usuario. Para la interfaz del A380 los resultados que se obtienen con el marco de evaluación son:

```
La Carga de trabajo puede reducirse, como máximo, hasta 42,68%.
Tiempo estimado de entrenamiento para un piloto inexperto y no
familiarizado con la interfaz 21.80 horas
Tiempo estimado de entrenamiento para un piloto inexperto y familiarizado
con la interfaz 10.90 horas
Tiempo estimado de entrenamiento para un piloto experto, pero no
relacionado con esta interfaz 7.27 horas
Tiempo estimado de entrenamiento para un piloto experto y familiarizado
con esta interfaz 5.45 horas
```

- Es de reseñar que las primeras versiones del marco de evaluación arrojaban siempre datos de sobrecarga de trabajo para todos los componentes de la interfaz en contra de los resultados de los usuarios y tal como demuestra la experiencia. Los resultados del marco de evaluación convergieron con los datos de la evaluación al introducir en el modelo el principio básico en toda interfaz: **"reconocimiento antes que recuerdo"**.

En el marco de evaluación predictivo no se ofrecen resultados relativos a la frustración y fatiga puesto que aún no está disponible la interfaz. Para la medida de estos parámetros lo más adecuado sería el empleo de medidas fisiológicas.

³³ No se ha realizado evaluaciones de usabilidad con usuarios en vuelos reales y realizando apagado de motores.

5.3.3. Interfaz en el A400M.

En esta sección, al igual que en las anteriores, se presenta la interfaz del SNA de la planta de potencia del A400M (en su estado actual, preliminar, no definitivo) objeto de evaluación, se continua con los resultados obtenidos en la evaluación con usuarios, se prosigue con los resultados obtenidos con el marco de evaluación y se finaliza con el análisis de estos resultados, comparándolos con los resultados de la interfaz existente; además, se discuten las principales discrepancias.

5.3.3.1. Descripción de la interfaz.

Esta interfaz actualmente sólo está disponible como maqueta a escala 1:1 de la interfaz definitiva del A400M (véase la Figura 37). Una visión más detallada de la pantalla de avisos se puede ver en la Figura 41. Los principales elementos de la interfaz ya han sido descritos en la sección 4.1 (véase también la Figura 9).

Al igual que en los casos anteriores, la interfaz incluye:

- Una pantalla con los principales datos primarios (véase la Figura 41);
- Las luces 'Master' y 'Caution' redundantes para los mensajes de avisos y alertas;
- Los altavoces con información sonora redundante a los componentes anteriores sobre una dimensión ortogonal.
- Los avisos de emergencia local situados en las palancas principales e individualizadas para cada motor.

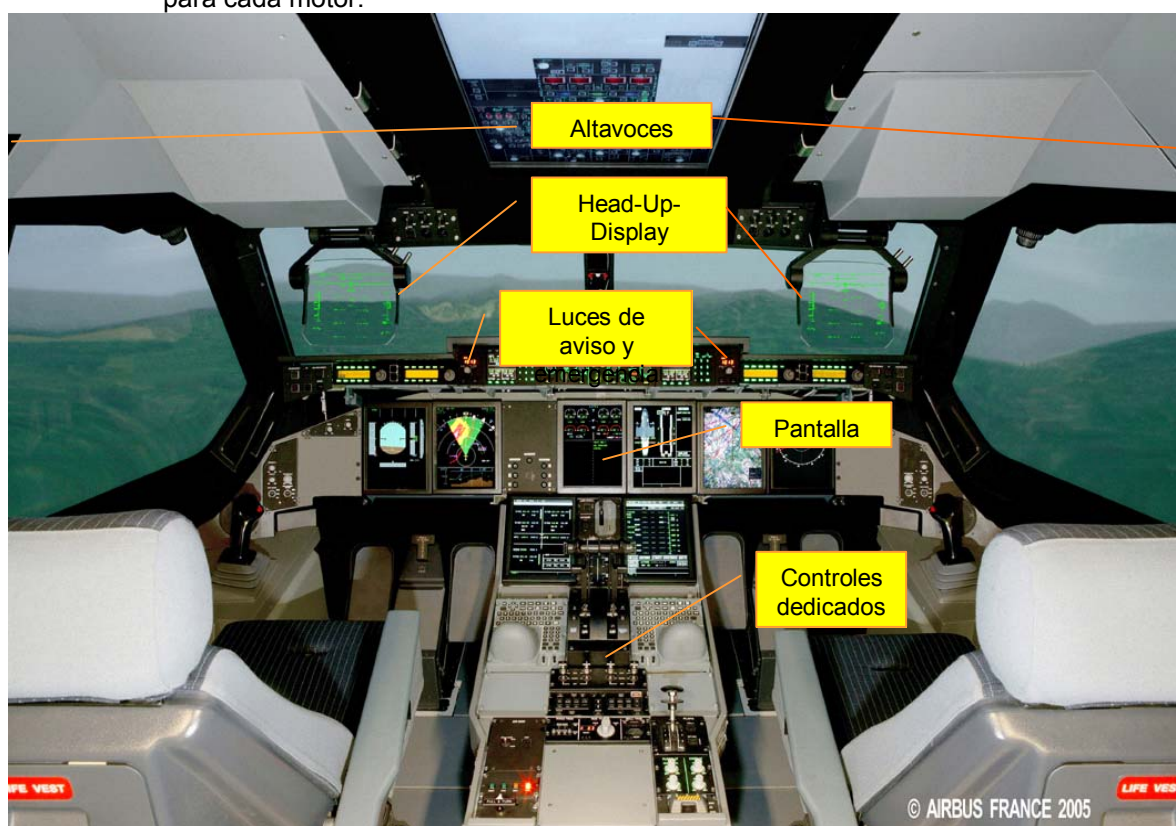


Figura 39 Maqueta del A400M

Además se incluye un nuevo componente en la interfaz: un Head-Up-Display por usuario para replicar los datos primarios de vuelo.

La disposición y la accesibilidad física de los componentes evaluados se muestran en la Figura 40.

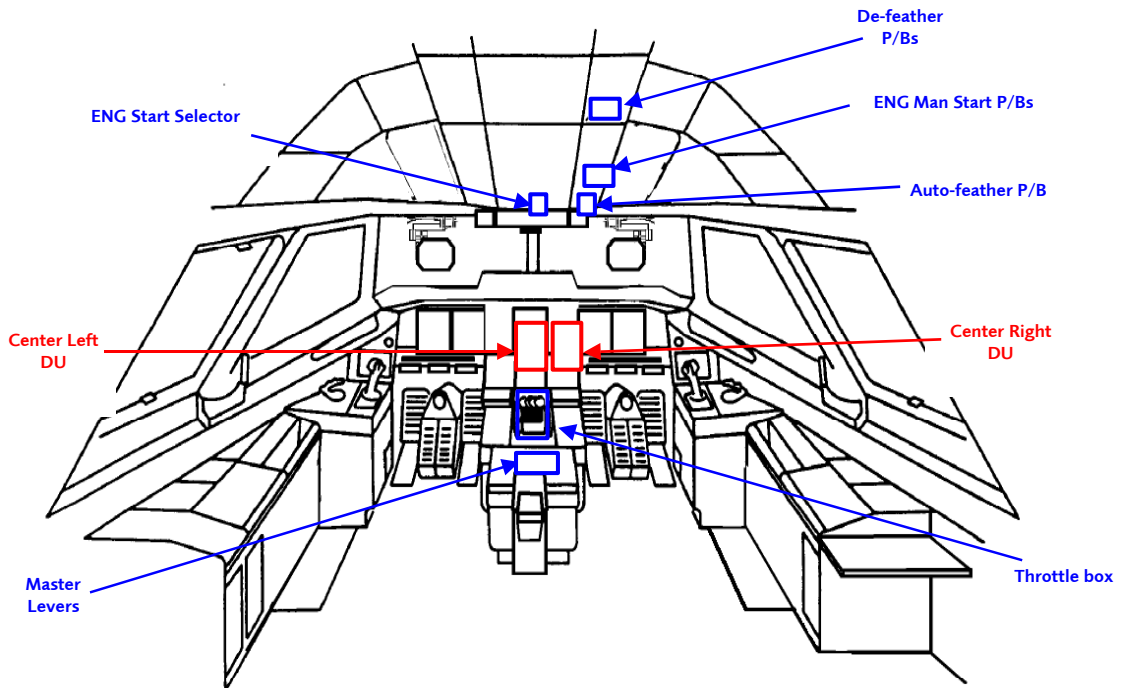


Figura 40 Disposición física de los elementos en la maqueta

Para el A400M, el principal requisito de diseño es la máxima reutilización de la interfaz del A380. No obstante se han introducido modificaciones importantes en la interfaz del SNA de la planta de potencia debido a:

- La aparición de nuevas notificaciones debidas a la inclusión de nuevas funciones a nivel de avión: fundamentalmente la integración de un motor acoplado a una hélice.
- Los datos primarios³⁴ y las alarmas están replicadas también en un *Head-Up Display*, y
- Las lecciones aprendidas de los resultados obtenidos en la evaluación del A380.

También se han hecho imprescindibles algunos cambios debido a la mayor importancia concedida a los usuarios en detrimento de los diseñadores de sistema de control principal. Ya había sucedido en el salto de la interfaz del A340 al A380 con la desaparición de N2 y N3, dos elementos muy

³⁴ Los datos primarios están constituidos por:

- La indicación del régimen de funcionamiento del motor,
- La indicación de empuje como torque,
- El número de vueltas por minuto de la hélice,
- La temperatura de salida de los gases de la turbina de alta presión del motor.

importantes de monitorización de datos para los diseñadores de motor, y, sin embargo, totalmente inútiles para los usuarios.³⁵



Parámetros primarios de motor (3.33 ")

Trim, frenos aéreos y alerones (0.68 ")

2 líneas x 3 columnas (14 caracteres) para informaciones permanentes memos and special lines (TBC) (0.58 ")

14 líneas para mensajes de alerta y procedimientos de alerta, memos no permanentes, limitaciones y mensajes de recuerdo (3.63 ") (cada línea de procedimientos consta de 41 caracteres)

³⁵ El ejemplo equivalente en los millones de coches existente es el marcador de revoluciones del eje del motor. ¿Realmente le interesa a un usuario esta información? Si es tan importante para el sistema, ¿Por qué no incluir un limitador o una luz de aviso?



Figura 41 Detalle de los elementos que componen la pantalla del SNA del A400M

Curiosamente, esta mayor importancia de los usuarios ha sido una consecuencia de las mejoras en las técnicas y procesos de la evaluación de interfaces del A380 en relación al A340. Así, por ejemplo, para el A400M son los mismos usuarios quienes piden la realización de nuevas evaluaciones de interfaces anteriores:

“. Would like an automatic reset of the normal C/Ls at the beginning of each flight. Why it is not the case on A380?

. New evaluation to perform to know if status page organization (more, info, 3 types of inop sys,...) is suitable but probably OK if idem 380

. Status page could be impacted if we decide to reorganize the information (limitations, deferred,...)”

Otra de las características del diseño preliminar de esta interfaz es la reducción del número de mensajes de voz y el número de mensajes de texto, como consecuencia de la operación (que no de la evaluación) del A380. Este resultado ya apareció al aplicar el marco de evaluación predictivo a la interfaz del A380, tal y como se vio en la sección 5.3.2.

5.3.3.2. Evaluación con usuarios.

A continuación se citan los principales objetivos de las evaluaciones iniciales realizadas por el grupo de Factores Humanos de Airbus, entre los que se puede apreciar como principal objetivo “reusar interfaces”:

1. Validar la interfaz del sistema de notificación del A380 en el contexto del A400M, relativas principalmente a la percepción sensorial (colores, tamaño de la letra, gráficos, disposición de los elementos, etc.) y la accesibilidad de los componentes del sistema de notificación según la importancia de la notificación.

2. Probar y validar las novedades. Entre ellas, la disposición vertical de las luces de aviso ('*Master y Caution warning*') en vez de la situación previa en horizontal.
3. Obtener resultados sobre la consistencia global de la interfaz en operación, especialmente en situaciones anormales.

La evaluación en la maqueta del A400M se realizó con cinco pilotos, 2 franceses, 1 alemán, 1 español y 1 inglés (véase Figura 44). En la evaluación no se menciona si son usuarios expertos o noveles. Se supone, siguiendo la norma general, que todos ellos son pilotos expertos, condición indispensable para ser piloto participante en la evaluación de una cabina.

Cada sesión de evaluación incluye:

- Un período de entrenamiento con la maqueta,
- Una reunión informativa en la que se les indicaba los objetivos de la evaluación,
- Una sesión de evaluación en distintos escenarios. En cada sesión se realizan medidas de la carga de trabajo a partir de las medidas fisiológicas de los latidos del corazón y la variación en la frecuencia de los latidos de cada uno de los usuarios empleando técnicas de electrocardiograma (véase Figura 45 y Figura 46). También se realizan medidas de prestaciones basadas en la medida del tiempo empleado para la realización de las tareas en distintos contextos. Véase la Figura 12 para una representación gráfica de las medidas fisiológicas y la Figura 47 para ver las medidas de prestaciones en forma tabular clasificadas por usuarios. Todas las sesiones de evaluación son registradas en vídeo para el análisis posterior.
- Un período para relleno de cuestionarios NASA-TLX tras la sesión de evaluación, cuyos resultados pueden verse en la (véase Figura 42).
- Una reunión posterior a la evaluación para conocer las opiniones de los usuarios.

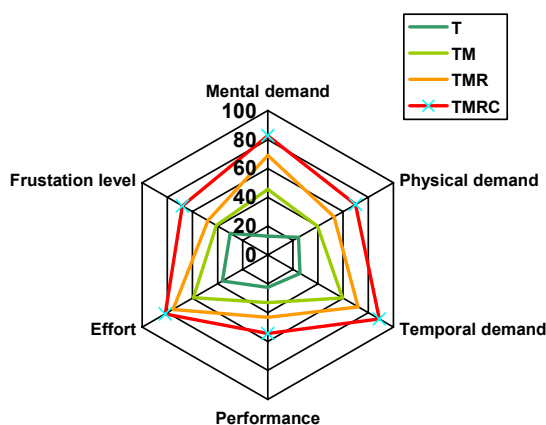


Figura 42 Resultados de la evaluación de usabilidad en tareas de seguimiento, monitorización, respuesta y comunicación.

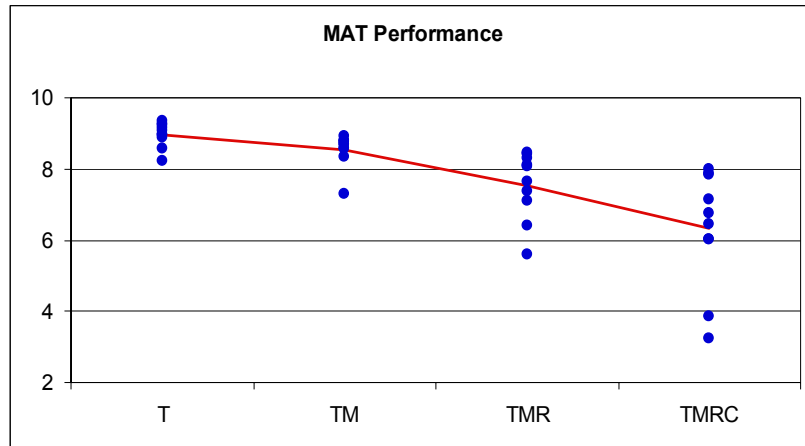


Figura 43 Evaluación de usabilidad en tareas de seguimiento, monitorización, respuesta y comunicación, basada en la medida de prestaciones (en porcentaje)





Figura 44 Usuarios evaluando la maqueta del A400M

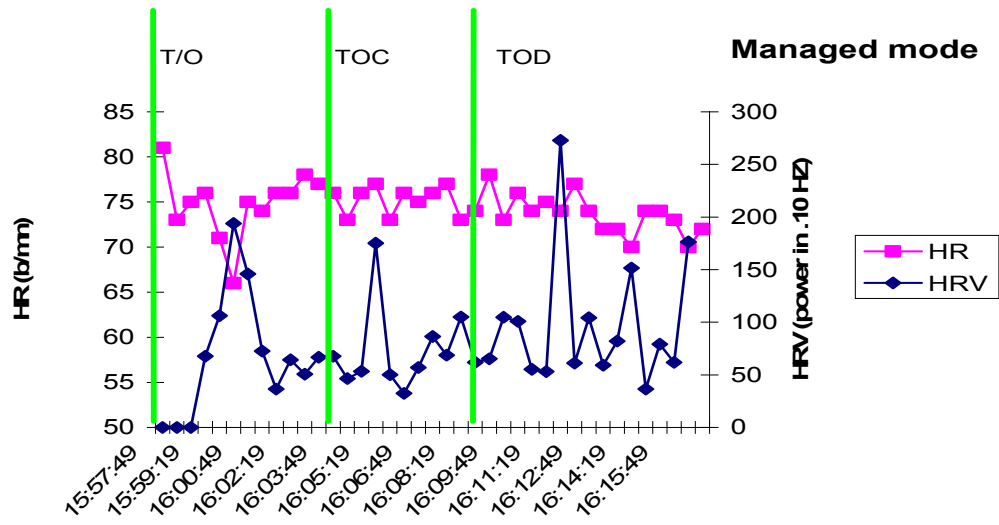


Figura 45 Evaluación de usabilidad basada en la medida de los latidos del corazón del usuario

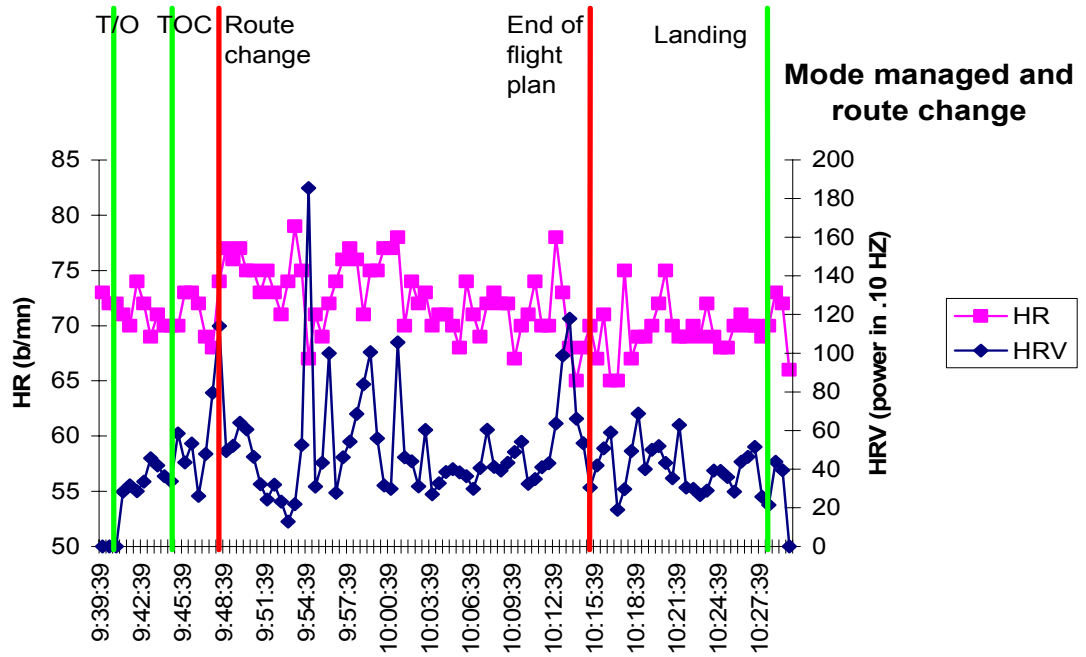


Figura 46 Medidas de usabilidad basada en la variación de los latidos del corazón del usuario

5.3.3.4. Análisis comparativo y conclusiones.

Los resultados obtenidos con el marco de evaluación predictivo son más coincidentes con los resultados proporcionados por la evaluación empírica con usuarios de la interfaz que en la evaluación del A380, al haber ajustado el marco de evaluación tras el análisis de los datos de la evaluación anterior.

Con respecto a la evaluación de la interfaz del A380 fue necesario el ajuste del marco de evaluación con la introducción de los nuevos estándares de certificación [FAA HFDG 2005] y la modificación de los coeficientes de la Tabla 10 debido a la introducción del principio “reconocimiento antes que recuerdo”.

A continuación se describen los principales resultados obtenidos a partir de los informes proporcionados por el marco de evaluación; se continúa con la comparación de estos resultados con los resultados procedentes de la evaluación realizada con los usuarios en las maquetas de la interfaz, pero no en los escenarios reales:

- Nuevamente se vuelven a presentar **discrepancias semánticas**: la leyenda como componentes de un sistema de notificación que proporcionan información fija resulta muy útil para los diseñadores del sistema, concedores del funcionamiento interno del motor, pero totalmente carente de sentido, y por tanto molesto, para los usuarios reales, los pilotos, para los que la información definitiva debe estar relacionada con el evento que se produce: ‘*despegue, crucero, aterrizaje*’, en vez de ‘*850 RPM, 630 RPM*’ El marco de evaluación permite mostrar este tipo de problemas de usabilidad a través del análisis del dominio del conocimiento, correspondiente al usuario y no a los diseñadores del sistema.
- La combinación de colores empleada en algunos nuevos componentes introducidos (azul oscuro sobre negro) es inconsistente e incompatible; **no fue detectado por los usuarios** durante las evaluaciones con usuarios, simplemente, porque ‘*no la habían visto*’. El marco de evaluación sí reportó este error.
- Uso de colores inconsistente y no conformes a las heurísticas. Los usuarios han reportado ‘*Color coding homogeneity essential*’. El marco de evaluación reporta todas las inconsistencias en el uso de colores, sus combinaciones y también los tamaños de letra adecuados a cada componente de la interfaz. Así, las notificaciones de menor prioridad (*memos*) empleaban la misma los colores y el mismo tamaño de letra que las notificaciones de prioridad más elevada.
- En las notificaciones que impliquen una pantalla con un gran nivel de detalle y reconocimiento de imágenes y texto empleando la visión focal, y a la vez **redundancias** a través de luces rojas separadas de la pantalla, con empleo de la visión periférica es preferible concentrar ambas dimensiones en la pantalla y **eliminar las luces**. Es el caso de las luces conocidas como ‘Master’ y ‘Caution’. El resultado de la evaluación confirma este resultado. Los resultados con usuarios han reportado: “*All pilots were really disturbed by the red light on the glareshield (unacceptable)*”. *Test: Assess the adequacy of red light position (accessibility/luminosity) with a representative key*”, aunque no se considera por parte del grupo de Factores Humanos la posibilidad de eliminarlas y situarlas en la pantalla principal.
- Otra de las implicaciones de la evaluación realizada con los usuarios es la necesidad de incluir en el informe de usabilidad del marco de evaluación la **evaluación de la luminosidad** de los componentes de la interfaz, por ejemplo, basándose en la guía [MIL-PRF-22885 1998].
- Para las notificaciones que exigen una respuesta del usuario, para indicar que se ha solucionado el problema que dio lugar a la notificación, es preferible una respuesta basada en **reconocimiento de voz**, en vez de una respuesta motora consistente en pulsar un

botón. Es el caso, por ejemplo, del botón que es necesario pulsar para impedir los mensajes de la indicación luminosa 'Caution'.

- Con el diseño actual de la interfaz, no es posible emplear reconocimiento de voz para suprimir la respuesta motora para la luz 'Master', por superponerse las notificaciones de voz y los sonidos repetitivos a la respuesta del usuario. Al incluir este aspecto, el marco de evaluación arroja numerosas **interferencias entre tareas** (Véase el informe de Interferencia entre tareas en el Anexo VI) que limitan la eficacia del usuario al interactuar con la interfaz. La mayor parte de estas interferencias pueden ser evitadas al emplear reconocimiento de voz tal y como se muestra en la evaluación del diseño alternativo. La implementación de la interfaz real y la evaluación con usuarios de este diseño alternativo no ha sido posible realizarse debido al elevado coste de desarrollo.
- Para los mensajes formados con **palabras y abreviaturas no pertenecientes al dominio**, los usuarios han reportado:

'The label should be changed (ABN PROC (A380), SUPP ABN. Not easy to find the desired proc in the menu but difficult to find an intuitive solution:

- *P2 : SUPP ABN or better : ABN NON-SENSED*
- *P3 : better to use a symbol than white color to indicate the title of a menu'*

El marco de evaluación permite detectar todas las palabras y abreviaturas que no pertenecen al dominio del usuario, así como identificar deficiencias en los dominios de conocimiento.

- Notificaciones **situadas incorrectamente** según el criterio de accesibilidad y prioridad de la notificación. Los usuarios han reportado *"ECAM CP accessibility to be checked!"*. El marco de evaluación permite detectar las inconsistencias entre las prioridades de un componente, la accesibilidad asignada y los atributos que debe tener (parpadeante, sonido repetitivo, etc.) según su prioridad.
- **Detección de modos**. Los usuarios han reportado: *'The aim is to have the best homogeneity between Normal, Tactical and Abnormal C/L in order to make the mission easier for pilots (learning and situation awareness) : All pilots agree to say that Normal C/L logic should have the same logic as Tactical C/L (ie exit/enter logic for Norm C/L) BUT BE CAREFUL with deferred proc logic!'*
El marco de evaluación permite detectar la existencia de modos basándose en el uso de teclas especiales o de control.
- El marco de evaluación muestra sobrecarga mental en algunas tareas, mucho más acentuadas dependiendo del contexto.
En la evaluación con usuarios no es posible la evaluación de todas las posibles tareas en todos los posibles escenarios y contextos, aunque ya se ha detectado una tarea para la que el resultado de la evaluación ha sido: *"The 4th workload is unacceptable"*. (Véase tarea TMRC, *Tracking Monitoring, Resource Management and Communication* de la Figura 42.

Todos los comentarios y/o errores realizados y/o detectados por los usuarios han sido reportados durante la aplicación del marco de evaluación.

Además, el marco de evaluación permite probar todas las posibles combinaciones de tareas, escenarios y contextos y además proporciona información acerca del origen de la sobrecarga. Aplicado al A400M los resultados muestran numerosas interferencias entre tareas que requieren los mismos recursos (principalmente la visión focal) en el mismo instante de tiempo.

5.4. Aplicación del marco de evaluación a un ciclo de diseño en aviónica.

Como parte de la evaluación de la propuesta se aplica el marco de evaluación a un ciclo de vida de diseño ampliamente utilizado en el campo de la aviónica para validar una de las características propuestas por [Scheindewind 1992] y descrita en la sección 5.2:

El marco de evaluación está desarrollado desde el punto de vista del evaluador de interfaces de usuario. Es decir, el usuario entiende qué puede hacer con el marco de evaluación, cómo puede hacerlo y cuáles son los resultados esperados.

Para comprobar la facilidad de aplicación del marco de evaluación, se aplica el marco de evaluación a un ciclo de desarrollo concreto, el ciclo 'V&V.', comúnmente empleado en aviónica.

Los distintos informes proporcionados por el modelo predictivo se encuadran en este marco de evaluación, y en las distintas etapas de diseño que lo conforman. En la Figura 48 se muestra una visión global de la aplicación del marco de evaluación al ciclo de diseño V&V. Estas pruebas automáticas permitirán realizar una evaluación predictiva a través de los informes automáticos obtenidos en cada prueba y serán aplicables en cualquiera de las fases de un ciclo de vida "V&V.", aunque este método también puede aplicarse en otros ciclos de vida.

En esta sección se aplica el marco de evaluación a un ciclo de diseño, el ciclo "V&V.", indicando qué informes son los más apropiados para cada etapa del ciclo y cómo puede emplearse el marco de evaluación como criterio de transición entre etapas del ciclo.

El marco de evaluación propuesto aúna la combinación de 'user testing' y evaluación predictiva basada en heurísticas y modelos de interacción, pero no en la forma del modelo de bocadillo ('*Sandwich model*' [Preece 2002]) en el que una capa permanece por encima de la otra. La propuesta es combinarlos en un modelo de "café con leche": el resultado de la mezcla puede producir que algunas reglas heurísticas se depositen abajo, en el fondo de la taza, como posos inservibles de un buen café o con un exceso de medidas cuantitativas manifestados en una leche muy cremosa proporcionada por los modelos predictivos y test de usuarios respectivamente. El café y la leche pueden mezclarse en cualquier proporción, dependiendo del sistema a ser evaluado, correspondiéndose con el concepto de evaluación centrada en la interfaz de usuario.

A modo de ejemplo, el marco de evaluación desarrollado en esta tesis se aplica a continuación a los ciclos de vida "V&V." de amplia aceptación en aeronáutica ([ABD200 2000a] y [ABD200 2000b]) cubriendo la evaluación de todos los atributos que caracterizan el sistema de notificación de un sistema crítico (véase la sección 4.5.1). Este marco de trabajo puede aplicarse en cualquier etapa del ciclo: al principio basado puramente en las heurísticas (el café) y al final, con el producto construido, afinando el modelo para esa interfaz (añadiendo crema) con usuarios. De este modo, al final del ciclo, y con el producto diseñado, se puede asegurar a través del marco de evaluación que el diseño de interfaz obtenido es el mejor entre todas las alternativas evaluadas.

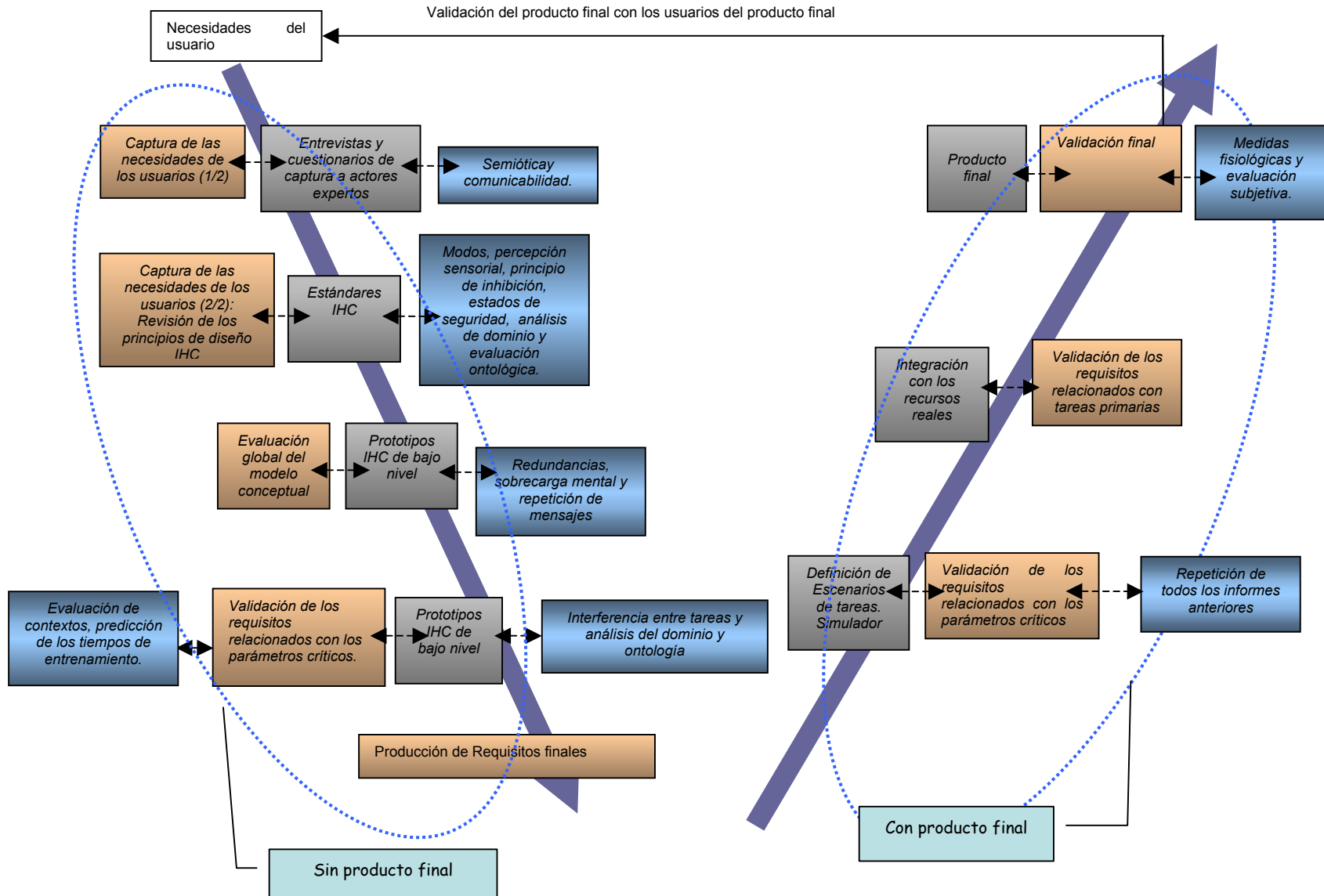


Figura 48 Aplicación del marco de evaluación al ciclo de vida "V&V."

La aplicación del marco de evaluación desarrollado en esta tesis a los ciclos de vida “V&V.” se basa en revisiones de operación de la interfaz y en evaluaciones de operación con la interfaz, apoyándose en los distintos informes proporcionados.

Las revisiones de operación de la interfaz consisten en reuniones de los diseñadores de la interfaz, usuarios expertos en el dominio y expertos en IHC. Estas revisiones son análogas a los *Recorridos plurales* de usabilidad encuadradas en los métodos de evaluación de usabilidad por inspección ([Bias 1994] y están apoyadas con prototipos además de los informes de la evaluación.

Las actividades realizadas en las evaluaciones *de operación con la interfaz* están apoyadas con simuladores totalmente software en un entorno suficientemente representativo y realista de la interfaz final (puede consistir en maquetas sobre equipos de sobremesa) en la que los usuarios del sistema crítico realizan las tareas correspondientes a distintos escenarios. En esta evaluación se realizan medidas de prestaciones centralizadas en los parámetros críticos que caracterizan el sistema de notificación de un sistema crítico (véase capítulo 4.2) y en cuestionarios a los usuarios basados en criterios de factores humanos (véase sección 4.7)

Un marco de trabajo que sirva para realizar la evaluación de una interfaz entre un ser humano y una computadora debe cubrir, al igual que cualquier sistema de ingeniería de software, tres procesos iterativos clave: **validación, verificación, y sumario y lecciones aprendidas.**

1. La **validación**, para asegurar que:

- el diseño final de la interfaz es *eficaz* para realizar las tareas primarias para las que se diseñó en términos de información notificada, control y alerta,
- las operaciones de notificación, control y alerta se asignan de forma adecuada en los recursos computacionales disponibles,
- el diseño cumple todos los requisitos IHC de carácter general (*cuota de atención, coherencia, interrupción, reacción, comprensión, sobrecarga, multitarea, modos, situaciones anormales, degradación y multiusuario*) y necesidades del usuario (*usable, incluyendo facilidad de operación, facilidad de aprendizaje, realimentación adecuada, efectos de los errores de usuario*), tanto explícitas (en uno o varios documentos de requisitos, uno por cada componente de la interfaz) como implícitas en la ciencia cognitiva (no figurará en ningún documento de requisitos, pero el usuario debe contar con dos ojos con visión normal, dos manos con cinco dedos en cada una que funcionan correctamente y no sufre déficit de memoria ni problemas mentales y nadie espera que los usuarios sean capaces de recordar todas las notificaciones proporcionadas por el sistema).

La validación puede ser descompuesta en dos subprocesos: uno realizado *sin* el producto final y otro realizado *con* el producto final, incluyéndose en ambos subprocesos las actividades del marco de evaluación.

Las evaluaciones realizadas *sin* el producto permiten reducir las modificaciones en la interfaz, pero por el contrario son menos fiables cuanto más temprana sea la ejecución de la evaluación y cuanto menor sea la madurez del diseño. Por ello, es necesario que la evaluación realizada con el modelo predictivo se realice en varias etapas del ciclo de vida de la interfaz.

La arquitectura de los procesos que forman parte de esta metodología se muestra en la.

A continuación se detallan las principales fases del ciclo de vida ‘V & V.’ y cómo se integra el marco de evaluación desarrollado en esta tesis:

[1] **Nombre de proceso:** *Captura de las necesidades de los usuarios.*

Métodos/medios:

- *Entrevistas y cuestionarios de captura de requisitos funcionales incluyendo actores expertos.*

- *Informe de evaluación de semiótica.*
- *Informe de de evaluación de comunicabilidad del modelo predictivo.*

Responsables:

- *Diseñadores de sistemas críticos.*
- *Especialistas de usabilidad para confeccionar las entrevistas y cuestionarios.*

Soporte:

- *Entrevistas y cuestionarios.*
- *Modelo predictivo.*

Entradas:

Productos:

- *Requisitos funcionales del sistema de notificación.*
- *Refinamiento del modelo predictivo.*

Criterio de salida:

- *No aparecen errores en los informes anteriores.*

[2] Nombre de proceso: *Revisión de los principios de diseño IHC*

Métodos/medios:

- *Informe de modos.*
- *Informe de percepción sensorial.*
- *Informe del principio de inhibición.*
- *Informe de estados de seguridad.*
- *Informe de análisis de dominio y evaluación ontológica.*

Responsables:

- *Diseñadores de sistemas críticos.*

Soporte:

- *Modelo predictivo.*

Entradas:

- *Estándares aplicables de diseño IHC.*

Productos:

- *Requisitos funcionales del sistema de notificación.*
- *Refinamiento del modelo predictivo.*

Criterio de salida: *No aparecen errores en los informes anteriores.*

[3] Nombre de proceso: *Evaluación global del modelo conceptual*

Métodos/medios:

- *Informe de análisis de redundancias y sobrecarga mental en los usuarios.*
- *Informe de repetición de mensajes.*

Responsables:

- *Diseñadores de sistemas críticos.*

Soporte:

- *Modelo predictivo.*

Entradas:

- *Requisitos funcionales.*
- *Requisitos no funcionales.*

Productos:

- *Prototipos IHC de bajo nivel.*
- *Refinamiento del modelo predictivo.*

Criterio de salida: *No aparecen errores en los informes anteriores.*

[4] Nombre de proceso: *Validación de los requisitos relacionados con los parámetros críticos.*

Métodos/medios:

- *Informe del dominio e informe ontológico.*
- *Informe de interferencia de tareas entre componentes.*

Responsables:

- *Diseñadores de sistemas críticos.*
- Soporte:**
- *Modelo predictivo.*
- Entradas:**
- *Prototipos IHC de bajo nivel*
- Productos:**
- *Prototipos IHC de alto nivel.*
- *Refinamiento del modelo predictivo.*
- Criterio de salida:** *No aparecen errores en los informes anteriores.*

[5] **Nombre de proceso:** *Validación de los requisitos relacionados con tareas primarias.*

Métodos/medios:

- *Informe de de evaluación de contextos.*
- *Integración con los recursos reales.*
- *Informe de sobrecarga de los usuarios en los diferentes contextos.*
- *Informe de predicción de los tiempos de entrenamiento.*

Responsables:

- *Diseñadores de sistemas críticos.*

Soporte:

- *Modelo predictivo.*

Entradas:

- *Definición de Escenarios de tareas.*
- *Prototipos IHC de alto nivel.*

Productos:

- *Simulador del sistema.*
- *Refinamiento del modelo predictivo.*

Criterio de salida:

- *Están contempladas en la interfaz todas las tareas necesarias y no hay conflicto entre ellas en los distintos escenarios.*
- *No aparecen errores en los informes anteriores.*

[6] **Nombre de proceso:** *Validación final.*

Métodos/medios:

- *Producto final en el sistema real.*
- *Medidas fisiológicas (latidos del corazón, variación de los latidos del corazón).*
- *Análisis ergonómico.*

Responsables:

- *Expertos en usabilidad.*
- *Diseñadores de sistemas críticos.*

Soporte:

- *Evaluaciones subjetivas con los cuestionarios NASA-TLX.*

Entradas:

- *Simulador del sistema.*

Productos:

- *Interfaz del SNA.*
- *Refinamiento del modelo predictivo.*

Criterio de salida: *Aceptación formal del sistema por parte de los usuarios finales.*

2. La **verificación**, para asegurar que el diseño final (y los prototipos y diseños intermedios si existiesen) cumplen con su especificación. Con respecto a la operación del sistema, el modelo predictivo sirve para probar:

- tanto los escenarios de operación normal como los anormales,
- la carga de trabajo de los usuarios,
- el procedimiento de operación para cumplir satisfactoriamente todas las notificaciones,
- la facilidad de operación, especialmente en los escenarios anormales,
- la facilidad de aprendizaje y de uso del modelo,
- la realimentación adecuada del modelo al diseñador de la interfaz, y
- el efecto de los errores y descuidos producidos por el modelo.

3. **Sumario de evaluación.** En este proceso:

- Se identifican los puntos abiertos relativos al comportamiento de la interfaz y el comportamiento del modelo.
- Se lleva a cabo un juicio realizado por expertos en usabilidad sobre el impacto de los puntos abiertos y no conseguidos por el modelo.
- Se identifican las limitaciones aplicables al sistema, derivadas de las deficiencias del modelo.
- Se realiza una nueva versión del modelo predictivo.
- Se contrastan las distintas alternativas de interfaz posibles.
- Se indica el estado, conseguido o no conseguido, de los requisitos establecidos y de las expectativas del modelo.
- Se justifican las desviaciones o no cumplimientos con respecto a los objetivos.
- Se identifican las actividades de predicción pendientes.
- Conclusión de las evaluaciones realizadas.

El resultado de este proceso debe ser un documento que proporcione de forma global y sintética los puntos anteriores.

Capítulo 6

6. Conclusiones y Líneas futuras

6.1. Conclusiones

Según el objetivo principal establecido en la sección 1.2 (el desarrollo de un marco de trabajo para la evaluación predictiva de Sistemas de Notificación en aviónica que pueda aportar datos, cualitativos y cuantitativos, de forma que permita al diseñador de la interfaz saber si su producto será usable antes de construirlo, y sin tener que realizar pruebas con los usuarios) se ha conseguido desarrollar satisfactoriamente un marco automatizado de evaluación predictiva para Sistemas de Notificación en Aviónica (SNA).

En esta sección se resumen las principales características del marco de evaluación predictivo desarrollado y se incluyen las principales conclusiones obtenidas tanto en el desarrollo del marco de evaluación como en su aplicación a las interfaces de SNAs reales. También se incluyen en esta sección las principales aportaciones y los trabajos futuros relacionados con el marco de evaluación.

Las principales metas establecidas y las características más relevantes de este marco de evaluación desarrollado en esta tesis son:

- La **extensión y generalización** para la evaluación de los Sistemas de Notificación de cualquier avión. En trabajos posteriores el marco de evaluación desarrollado puede ser extendido a cualquier Sistema de Notificación genérico para sistemas críticos y para sistemas de propósito general de sobremesa.
- La **replicación** de los resultados proporcionados por el marco de evaluación, independientemente del grado de experiencia de los usuarios y de los evaluadores que intervengan en la evaluación de la interfaz.
- Su carácter económico, en términos de **efectividad de coste**, para los diseñadores de interfaces, al limitarse la necesidad de evaluadores expertos para la evaluación de las heurísticas y estándares aplicables, y al minimizarse las pruebas con usuarios reales. El hecho de no precisar la construcción de la interfaz definitiva hace que las modificaciones, la implementación de diseños alternativos y la solución de problemas no sean impracticables ni muy costosas. Así por ejemplo, se ha podido evaluar la reducción del número de interferencia entre tareas al añadir a la interfaz del SNA de planta de potencia del A400M el reconocimiento de voz (véase la sección 5.3.3.4).
- Se evita construir prototipos de alto nivel al ser predictivo, **reduciéndose los tiempos y costes de desarrollo**.
- Se aportan **datos cualitativos y cuantitativos** que evitan los juicios subjetivos de los evaluadores expertos y los prejuicios de los usuarios con experiencia previa en interfaces similares.
- Se reducen los recursos humanos necesarios para la evaluación al realizarse una evaluación **automatizada**.
- Se permite la **comparativa sistemática** de diseños alternativos, inviable con los métodos tradicionales de evaluación de interfaces tradicionalmente empleados en aviónica.

- Puede ser implantado de forma natural en los **ciclos de diseño** empleados en aviónica, especialmente en los ciclos más empleados actualmente, los ciclos de desarrollo 'V&V'.
- Con la aplicación del marco de evaluación predictivo desarrollado en esta tesis se cubren **más aspectos y facetas** de usabilidad que con la evaluación empírica realizada con usuarios reales, en especial para cubrir una gran variedad de contextos y perfiles de usuarios, permitiendo evaluaciones más amplias en las situaciones de operación anormales y más acordes con las características de un grupo amplio de usuarios, en línea con la tendencia a globalizar las interfaces.
- Se proporciona un medio de **evaluación crítica** indicando a los diseñadores de la interfaz no solamente qué elemento produce resultados insatisfactorios desde el punto de vista de la evaluación, sino que también se proporciona información sobre cómo puede solucionarse el problema de usabilidad mostrado por el marco de evaluación.

Este marco de evaluación ha sido formalizado matemáticamente por medio del uso del lenguaje BNF, y ha sido validado en una doble vertiente:

- (1) **Formal** siguiendo los pasos establecidos por el **criterio de validez** propuesto por [Scheindewind 1992]. El resultado de la aplicación de este criterio al marco de evaluación ha demostrado la validez formal del marco de evaluación (véase la sección 5.2) en consonancia con este criterio.
Como resultado de la aplicación del criterio de validez, dos de los parámetros críticos seleccionados (la degradación y la pérdida de rendimiento primero, y la capacidad multiusuario de una interfaz después) se han suprimido del marco de evaluación al no encontrarse en la literatura evidencias suficientes para relacionarlos con la usabilidad, en relación con el nivel de confianza existente en la literatura respecto a la medida indirecta de usabilidad a través de estos parámetros.
La utilidad de estos parámetros y su posterior incorporación al marco de evaluación se considerará en trabajos posteriores.
- (2) **Empírica** a través de su aplicación y posterior comparación con las evaluaciones realizadas con usuarios de las interfaces reales de los SNAs de la planta de potencia de los aviones **A340, A380 y A400M**. El resultado de la comparación de los resultados proporcionados por el marco de evaluación predictivos y los resultados obtenidos en la evaluación con usuarios ha confirmado la validez del marco de evaluación para las interfaces de SNAs (véase la sección 5.3), poniendo de relieve los mismos problemas aparecidos en las evaluaciones realizadas con usuarios, a la vez que se muestran en la evaluación predictiva otros problemas considerados secundarios, como puede ser la combinación de colores o el análisis de la información contenida en las notificaciones, y que no suelen formar parte de las evaluaciones llevadas a cabo con las interfaces reales.
En la comparación de los resultados experimentales con los resultados obtenidos con la aplicación del marco de evaluación se puso de manifiesto la necesidad de incorporar el principio de **reconocimiento antes que recuerdo** al marco de evaluación puesto que la evaluación predictiva arrojaba resultados de sobrecarga de los usuarios en la interacción con interfaces cuyo uso se ha mostrado satisfactorio con el uso de las interfaces por múltiples usuarios y durante períodos prolongados de uso sin que se haya reportado sobrecarga en la interacción.
La aplicación del marco de evaluación predictivo a estas interfaces incluye también aspectos no incluidos en la evaluación empírica como son la adaptación de la evaluación a diversos perfiles de usuario y distintas situaciones de emergencia en diferentes contextos.
También ha sido integrado el marco de evaluación con un ciclo de diseño típicamente empleado en aviónica, el ciclo **V&V**, demostrándose la facilidad de aplicación y la fácil adaptación del marco de evaluación y los informes proporcionados a los distintos procesos y etapas del ciclo V&V (véase la sección 5.4). De nada serviría un marco de evaluación muy completo, preciso, fiable y con

informes abundantes si los diseñadores y evaluadores no pueden aplicarlo fácilmente, y tampoco es posible adaptarlo a los ciclos de diseño más habituales empleados en aviónica.

La evaluación de usabilidad del marco de evaluación predictivo por parte de los diseñadores y evaluadores de interfaces se considerará en trabajos posteriores.

Adicionalmente al desarrollo del marco de evaluación en sí mismo se ha proporcionado una **caracterización** formal de las interfaces de SNAs, permitiendo la construcción de un espacio de diseño y un lenguaje común para los diseñadores de interfaces de SNAs que puede ser ampliable a una interfaz genérica.

Del mismo modo, se demuestra la viabilidad de una **base de conocimiento** que asocie los resultados de la evaluación de un determinado componente IHC para un determinado contexto de operación y para un usuario con un perfil determinado en un **caso de uso** determinado. Esta base de conocimiento podría incorporarse a una **herramienta de simulación y modelización** como MIDAS (NASA) o algunas más genéricas como MATLAB/Simulink[®], que incluyera el marco de evaluación como una opción de validación automática de la interfaz que se está modelando.

La evaluación empírica de las interfaces de los SNAs de las plantas de potencia reales con usuarios es un proceso con una duración típica de **varios años** y que precisa de, al menos tres pilotos, un grupo de evaluadores expertos y el grupo de diseño de la interfaz implicados en el proceso de evaluación. El proceso de evaluación empírica conlleva también la construcción de costosos prototipos de alto nivel basados en los diseños anteriores y de un período de evaluación de varios meses en la interfaz real. Mediante el uso del marco de evaluación predictivo la evaluación puede **integrarse** como un proceso más del ciclo de desarrollo y pueden **reducirse** la evaluación empírica a un conjunto reducido de pruebas de satisfacción de los usuarios con la interfaz real, suprimiendo la costosa evaluación basada en los prototipos de alto nivel.

Durante el desarrollo del marco de evaluación se ha comprobado que todos los modelos cognitivos de usuarios existentes (excepto tímidamente SOAR) se han concebido y modelado sin tener en cuenta el principio de '**reconocimiento antes que recuerdo**'. Esta carencia implica que todas las interfaces diseñadas incluyendo en su proceso de desarrollo cualquiera de estos modelos de usuario proporcionen un aprendizaje inicial sencillo, pero la interacción resulta pesada y tediosa para aquellos usuarios que utilicen frecuentemente la interfaz. Así, estas interfaces precisan de forma indispensable de atajos (*shortcuts*) que introducen modos de operación que, a su vez, consumen recursos de los usuarios. La existencia de estos modos no está permitida en el diseño de interfaces para sistemas críticos. Éste es uno de los motivos de la escasa aplicación de los modelos de usuarios existentes al diseño de interfaces en aviónica. No incluir este principio produce 'sobre-evaluaciones' y 'sobre-diseño' con muchos niveles de redundancia, puesto que se omite la capacidad del usuario para *anticiparse* a la interfaz de forma parecida a como funciona una *cache* y la fase *pre-fetch* en la secuencia de ejecución de instrucciones de un microprocesador.

Los modelos cognitivos de usuario deberían **generalizarse** para incluir comportamientos determinísticos y comportamientos en operaciones anormales de operación. El marco de evaluación desarrollado puede contribuir a esta generalización aportando resultados predictivos contrastados con evaluaciones realizadas con usuarios. De este modo los modelos cognitivos de usuario pueden refinarse tomando como base inicial los informes objetivos proporcionados por el marco de evaluación desarrollado, sin necesidad de repetir costosas pruebas con usuarios y centrándose en ciertos recursos cognitivos del usuario para ir completando el modelo de forma incremental.

También se ha comprobado durante la aplicación del marco de evaluación a las interfaces reales que estas interfaces están diseñadas para usuarios muy expertos con niveles altos de **sobreentrenamiento**, especialmente para las situaciones de operación anormal. De este modo, se prima el entrenamiento de los usuarios hasta conseguir un nivel de experiencia y pericia similar a los usuarios que realizaron la evaluación, en vez de intentar mejorar la

usabilidad de las interfaces y facilitar su globalización; los problemas potenciales de usabilidad se resuelven con el entrenamiento y la consiguiente automatización de las tareas.

El marco de evaluación predictivo desarrollado también puede servir como soporte a los diseñadores de interfaces en el proceso de **aprendizaje** como pruebas de autoevaluación de sus diseños de interfaces. La automatización de las relaciones matemáticas de los parámetros críticos, y el cumplimiento de estándares y heurísticas contenidas en el modelo predictivo, así como la caracterización formal de las interfaces hacen fácilmente portable el marco de evaluación como parte de una aplicación más amplia de **aprendizaje electrónico** (*e-learning*) para los diseñadores de interfaces.

6.2. Aportaciones logradas

En esta sección se incluyen las principales aportaciones logradas con el marco de evaluación predictivo desarrollado en esta tesis son:

- Un **marco de evaluación formativa y predictiva**. Este marco de evaluación está encuadrado en la evaluación reducida (*discount evaluation*), permitiendo acortar tiempos de desarrollo, primero, al reducir la fase de evaluación por inspección de estándares y evaluación heurística, al automatizarse la evaluación de un conjunto de heurísticas ad hoc para los SNA, y, segundo, al minimizar la fase de evaluación empírica y etnográfica con los usuarios reales (pilotos).
El marco desarrollado permite la **supresión** de los evaluadores como únicos expertos. Con el marco de evaluación desarrollado en esta tesis es posible obtener resultados sistemáticos e independientes de la experiencia y del saber de los evaluadores. El marco de evaluación predictiva puede ser empleado tanto por los diseñadores, sin experiencia en evaluación de interfaces como por las autoridades de certificación de forma que se puedan proporcionar argumentos objetivos acerca del cumplimiento de normas y heurísticas necesarias para la certificación.
El marco de evaluación permite:
 1. La realización de **evaluación crítica**, proporcionando la solución establecida por las guías y heurísticas al problema detectado.
 2. La aportación de criterios que permiten tomar decisiones en revisiones e inspecciones formales de diseño relativas a la transición entre etapas de diseño, fijando valores mínimos para los resultados proporcionados en los informes disponibles en el marco de evaluación.
 3. La predicción del **tiempo de entrenamiento** necesario para cada perfil de usuario.
- Un conjunto de **relaciones matemáticas** entre parámetros críticos y modelos cognitivos. La formalización matemática está basada en la experimentación asociada a las teorías cognitivas y a principios de aceptación universal como puede ser la regla del 7 ± 2 .
- Un **conjunto de parámetros críticos** y la **caracterización formal** de los Sistemas de Notificación en Aviónica (SNA) permitiendo de este modo que sea posible construcción de un espacio de diseño de interfaces de SNAs, que permite a los expertos expresar los problemas asociados a una interfaz con un lenguaje consistente y juicios a través de una evaluación medida y un lenguaje común para los diseñadores de este tipo de interfaces.
- La **automatización** del modelo predictivo incluido en el marco de evaluación con la consiguiente reducción, en tiempo y recursos humanos, de los altos costes de evaluación con los usuarios. Se reduce igualmente la evaluación realizada por expertos.

De forma sistemática se cubre el 100% de las heurísticas incorporadas, frente al 40%-50% identificado por 3-5 evaluadores [Nielsen 1993].

Esta automatización permite la **comparativa** de diseños alternativos sin llegar a construirlos, frente al proceso normal de máximo re-uso de los diseños, sin explorar otras alternativas. Así, por ejemplo, el diseño de la interfaz del sistema de notificaciones del A340 no difiere mucho del A400M, aunque estén separadas más de 15 años, sin que se hayan explorado interfaces alternativas.

La automatización también permite la introducción de forma sistemática y parametrizada de los **contextos** y los **perfiles de usuario** en la evaluación predictiva.

6.3. Líneas futuras

El marco de evaluación desarrollado en esta tesis puede ampliarse con los trabajos futuros descritos en esta sección y dirigidos fundamentalmente a:

- Comprobar experimentalmente la validez de los dos parámetros críticos (Multiusuario y Degradación y pérdida del rendimiento) rechazados como medida indirecta de la usabilidad de un SNA. En el anexo V puede verse una propuesta de estos experimentos. Si la experimentación permite demostrar su validez como medida indirecta, su integración en el marco de evaluación puede realizarse a través de dos posibles formas de aproximación similares a las adoptadas en la teorías de Multi-Agentes en Inteligencia Artificial [He e Ioerger, 2003]:
 - (1) Simbólica, con razonamiento lógico, basada en la capacidad de los usuario para determinar un plan (un mini-plan) que puedan usar para alcanzar los objetivos según su *Know how*.
 - (2) Por razonamiento cuantitativo que tiene en cuenta las habilidades de cada usuario, el tiempo disponible para realizar las tareas [Hendy et al. 1997] y una garantía mínima cuantificada en los sistemas críticos en realizar las tareas en el tiempo adecuado (para el sistema y no para los usuarios) y en el número de errores cometidos (idealmente cero).
- Comprobar experimentalmente que los parámetros cognitivos empleados en el modelo predictivo para SNAs también son válidos para Sistemas de Notificación generales, mediante la aplicación del marco de evaluación a sistema de notificación típicos de la computación ubicua y de equipos de propósito general de sobremesa. En particular, se intentará comprobar que el conjunto de parámetros críticos seleccionados en esta tesis doctoral también son aplicables a los Sistema de Notificación de las grandes aplicaciones empleadas en situaciones de emergencia y catástrofes naturales (incendios, accidentes ferroviarios, huracanes, etc)
- Integrar modelos cognitivos de usuario al modelo predictivo del marco de evaluación que proporcionen una evaluación integral de la interacción entre el usuario y la interfaz.
- Integrar la evaluación multimedia (mensajes de voz sintética) en el marco de evaluación desarrollado en esta tesis.
- Evaluar predictivamente la interacción del usuario con una interfaz en tiempo real una vez que esté integrado un modelo cognitivo de usuario.
- Desarrollar los patrones de evaluación e integrarlos en el marco de evaluación de los principales patrones de evaluación relacionados con los parámetros críticos para su aplicación a interfaces de SNAs ya construidas. De este modo, el marco de valuación se amplia para incluir un método de evaluación con la interfaz del SNA en cualquier etapa del ciclo de diseño
- Integrar reglas de interacción entre componentes primitivos tal como se introdujo en la sección 4.5 y según las propiedades definidas en la sección 4.8 de forma que permitan

el diseño de un sistema experto que pueda incorporarse en herramientas de autor para el diseño de interfaces de Sistemas de Notificación para sistemas críticos.

- Tal como se esbozó en las secciones 1.2 y 6.1, generar una base de conocimiento de buenas prácticas que incluya las características típicas de cada componente IHC y los errores típicos asociados a la interacción con cada componente. Esta base de conocimiento puede integrarse en herramientas como MATLAB/Simulink[®]

Capítulo 7

7. Bibliografía y Referencias

A	
[ABD200 2000a]	<i>Airbus Directives (ABD) and Procedures: Requirements and Guidelines for the System Designer (ABD200), Module 0200.2.3: "System Validation"</i> Edición E, Junio de 2000
[ABD200 2000b]	<i>Airbus Directives (ABD) and Procedures: Requirements and Guidelines for the System Designer (ABD200), Module 0200.2.4: "System Verification"</i> Edición E, Junio de 2000
[Abernethy 1988]	Abernethy, R. 1988. <i>Visual search in sport and ergonomics: Its relationship to selective attention and performer expertise</i> . Human Performance, Vol. 1, páginas 205-235.
[ACT-R06 2006]	ACT-R06.2006. Departamento de Psicología. Universidad de Carnegie Mellon
[AEA 2003]	AEA Directives" Cockpit AEA Compatibility Directives M25RQ0301198
[AEEC CEI 2005]	<i>AEEC CEI Subcommittee, Part 4C, Cabin Distribution System - 2nd Generation 04-125/CEI-286</i>
[AEEC NIC 2005]	<i>AEEC NIC Subcommittee GAIN Strawman for Project Paper. Definition of Standard Interfaces for Galley Insert Equipment - GAIN, Part 2, Data Interfaces. 04-159/GAIN-002</i>
[Amalberti et al. 1989]	<i>Amalberti, R, M Bataille, G Deblon, A Guengant, JM Paquay, C Valot, and JP Menu. 1989. Développement d'aides intelligentes au pilotage: Formalisation psychologique et informatique d'un modèle de comportement du pilotage de combat engagé en mission de pénétration. Paris: Rapport CERMA.</i>
[AMJ25 2000]	<i>Alerts Identification principles – RECOMMENDED DESIGN RULES</i> Ref. 527.0034/2002, Issue 01 AMJ 25.1322 dated from October 1st, 2000
[AP 2080 2000]	Airbus Procedures 2080. 2000. <i>Airbus Reference Language Glossary of Airbus Terms and Expressions (GATE)</i> .
[Anderson 1996]	Anderson, J.R. 1996. <i>ACT: A simple theory of complex cognition</i> . American Psychologist, volumen 51, páginas 355-365.
[Anderson 1993]	Anderson, J.R., 1993. <i>Rules of mind</i> . Editorial Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
[ARINC 1992a]	ARINC. 1992. <i>RTCA /DO-178B, "Final Report for Clarification of DO-178B 'Software Considerations in Airborne Systems and Equipment</i>

	<i>Certification," Special Committee 190, RTCA, Inc.</i>
[ARINC 1992b]	ARINC. 1992. <i>RTCA SC-167/EUROCAE WG-12. RTCA/DO 178-B "Software Considerations In Airborne Systems and Equipment Certification"</i> .
[ARINC 661-2 2003]	AEEC SAI Subcommittee 04-192/SAI-864 September, 1 st 2004 . Sap <i>ARINC 661-2 Cockpit Display System Interfaces to User Systems</i> .
[ARP 1996]	Aerospace Recommended Practice . 1996. <i>Certification Considerations for Highly Integrated or Complex Aircraft Systems</i> . Número 4754
[Aslett 1991]	Aslett, M.J. 1991 <i>A Knowledge Based Approach To Software Development: ESPRIT Project ASPIS</i> . North Holland
B	
[Baars 1998]	Baars, Bernard J. A. 1998. <i>A Cognitive Theory of Conciousness</i> . Cambridge University Press.
[Baddeley 1995]	Baddeley, A.D. 1995. <i>Working memory</i> . En ediciones M. S. Gazzaniga et al., <i>The cognitive neurosciences</i> , páginas 152-170, cambridge, MA: MIT Press.
[Baecker et al. 2000]	Baecker, R., Booth K. , Jovicic, S ;, McGrenere, J., Moore, G. 2000. <i>Reducing the Gap Between What Users Know and What They Need to Know</i> . ACM Conference on Universal Usability. Proceedings on the 2000 conference on Universal Usability
[Balbo 1995]	Balbo, S. 1995. <i>Automatic evaluation of user interface usability: Dream o reality</i> . En S. Balbo, Ed., <i>Proceedings of the Queensland Computer-Human Interaction Symposium (Queensland, Australia, Agosto)</i> .Bond University.
[Ballas et al. 1992]	Ballas, J.A., Heitmeyer C.L. y Pérez, M.A. 1992. <i>Evaluating two aspects of direct manipulation in advanced cockpits CHI'92</i> Mayo 3-7 Páginas 127-134,
[Bandbury y Berry 1998]	Bandbury, S. y Berry, D.C. 1998. <i>Disruption of office-related tasks by speech and office noise</i> . British Journal of Psychology, volumén 89, páginas 499-517.
[Barnard 1985]	Barnard, P.J., 1985. <i>Interactive cognitive subsystems: A psycholinguistic approach to short term memory</i> . En <i>Progress in the psychology of language</i> . Editorial Lawrence Erlbaum Associates Inc. páginas 197-258.
[Barnard et al. 2000]	Barnard, P. , May, J., Duke, D., Duce D. 2000. <i>Systems, interaction, and macrotheory</i> . ACM Transactions Computer Human Interaction 7,2 (junio), páginas 222-262.
[Barnard y May 1995]	Barnard, P. y May, J. 1995. <i>Towards a theory-based form of cognitive task analysis of broad scope and applicability</i>

[Barnard y May 1999]	Barnard, P. y May, J. 1999. Representing cognitive activity in complex tasks. <i>Human Computer Interaction</i> 14, 1-2, páginas 93-158
[Bartram 1998]	Bartram, L. 1998. <i>Enhancing visualizations with motion</i> . En Proceedings of the IEEE Symposium of Information Visualization (InfoVis'98). Páginas 13-16
[Bartram y Czerwinski 2002]	Bartram, L. y Czerwinski, M. 2002. <i>Workshop 9: Design and evaluation of notification interfaces for ubiquitous computing</i> . Fourth International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp)
[Bartram et al. 2001]	Bartram, L., Ware, C. y Calvert, t. 2001. <i>Moving icons: detection and distraction</i> . En Proceedings of the IFIP TC. 13 th International Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT 2001)
[Bias 1994]	Bias R., 1994 <i>The Pluralistic Usability Walkthrough: Coordinated Empathies en Usability Inspection Methods</i> editado por Nielsen J., Mack R., John Wiley & Sons, Inc.
[Booker Chewar y Scott MacCrickard, 2004]	Booker J. E., Chewar, C.M. y Scott MacCrickard D. 2004. Usability Testing of Notification Interfaces: <i>Are We Focused on the Best Metrics?</i> . ACMSE'04. 2-3 Abril de 2.004, Huntsville, Alabama. USA. páginas 128-133.
[Broadbent 1958]	Broadbent, D. 1958. <i>Perception and Communications</i> . Oxford, UK. Editorial Pergamon.
C	
[Cadiz et al. 2001]	Cadiz, J., Venoglia, G., Jancke, G. y Gupta, A. 2001. <i>Sideshow : Providing peripheral awareness of important information</i> . Technical report MSR-TR-2001-83, Microsoft Research, Collaboration and Multimedia Group
[Cadiz et al. 2003]	Cadiz, J., Czerwinski, M., McCrickard, D.S. y Stasko, J. 2003. Workshop : Providing elegant peripheral awareness. En Conference Extended Abstract of Human Factors in Computer Systems (CHI'03), páginas 1066-1067.
[Card et al. 1983]	Card, stuart K., Moran, Thomas P. y Newell, Allen. 1983. <i>The Psychology of Human-Computer Interaction</i> . Editorial Lawrence Erlbaum Associates.
[Caroll y Rosson 1992]	Caroll, J.M y Rosson, M.B. 1992. <i>Getting around the task-artifact cycle: How to make claims and design scenario</i> . ACM Trans. Inf. System. 10, 2 (Abril), páginas 181-212
[Caroll et al. 1992]	Caroll, J. M., Singley, M.K. y Rosson, M.B. 1992. <i>Integrating theory of development with design evaluation</i> . Behavior and Information Technology 11. Páginas 247-255.
[Chase y Simon 1973]	Chase, William G., and Herbert A. Simon. 1973. "Perception in chess." Cognitive Psychology . Visitado el 24 de marzo de 2.006

[Chapanis 1996]	Chapanis, A. 1996. <i>Human Factors in systems engineering</i> . Editorial John Wiley e hijos. Nueva York
[Charlton 2004]	Charlton, S. 2004. <i>Perceptual and attentional effects on drivers' speed selection at curves</i> . En las actas de Accident Analysis and Prevention 2004; Volumen 36, edición 5, páginas 877-884.
[Cheward et al. 2004]	Chewar, C. M., Scott McCrickard, D. Sutcliffe A. G. . 2004. <i>Unpacking Critical Parameters for Interface Desig: Evaluating Notification Systems with the IRC Framework</i> . En Procceding of Designing Interactive Systems (DIS'04) ACM Press, páginas 278-288
[Cooper y Harper 1969]	Cooper y Harper. 1969. <i>The use of Pilot Ratings in the Evaluation of Aircraft Handling Quality</i> .
[Coutaz 1995]	Coutaz, J. 1995. <i>Evaluation techniques: Exploring the intersection of HCI and software engineering</i> . En R.N. Taylor y J. Coutaz, Eds., Software Engineering and Human-Computer Interaction, Lecture Notes in Computer Science, páginas. 35–48. Heidelberg, Alemania: Springer-Verlag.
[Cutrell et al. 2001]	Cutrell, E., Czerwinski, M., y Horvitz, E. 2001. <i>Notification, disruption and memory: Effects of messaging interruptions on memory and performance</i> . En Proceedings of the IFIP TC. 13ª International Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT 2001). Páginas, 263-269
D	
[Desurvire 1994]	Desurvire H., 1994. <i>Faster, Cheaper!! Are Usability Inspection Methods as Effective as Empirical Testing?</i> . Editado por Nielsen J., Mack R., John Wiley & Sons, Inc.
[Dismukes et al. 1998]	Dismukes, R. K., Young, G., y Sumwalt, R. 1998. <i>Cockpit interruptions and distractions: Effective management requires a careful balancing actuations</i> . ASRS Directline, 10. http://asrs.arc.nasa.gov/directline_issues/dl10_distract.htm . Visitado por última vez el 17 de abril de 2005.
[Dix 1991]	Dix, A. 1991 <i>Formal Methods for Interactive Systems</i> . Academic Press
[Dix et al. 2003]	Dix, A., Finlay, J., Abowd, G., And Beale, R. 2003. <i>Human-Computer Interaction</i> (tercera edición). Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
[Duchnicky y Kolers 1983]	Duchnicky, R.L. y Kolers, P.A. 1983. <i>Readability of text scrolled on visual display terminals as a function of window size</i> . Human factors 25, 6, páginas 683-692
[Duke et al. 1994]	Duke, R., Rose, P. Y Smith , G. 1994 <i>Object Z: A Specification Language Advocated For The Description Of Standards</i> . Technical Report 94-95. Software Verification Research Center. Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Queensland

[Duke y Harrison 1993]	Duke, D. y Harrison, M. 1993 <i>.Abstract Interaction Objects</i> . Computer Graphical Forum 12, 1, C25C36
[Durso y Gronlund, 1999]	Durso, F. y Gronlund, S., 1999. Situationa wareness. En ediciones F. T. Durso, Handbook of Applied Cognition, páginas 283-314. Nueva York: John Wiley & Sons.
E	
[Endsley y Garland, 1999]	Endsley, M.R. y Garland, D.J., 1999. Sistuation awareness analysis and measureemnt. Mahwah NJ: Erlbaum.
[Enns y Rensink 1991]	Enns, J.T. y Rensink, R.A. 1991. <i>Preattentive recovery of three-dimensional orientation from line drawings</i> . Phychological review 98, páginas 335-351
[EPIC 2005]	<i>Source code files in Common Lisp for the EPIC system</i> ftp://www.eecs.umich.edu/people/kieras/EPIC/EPIC_distribution . Visitado por última vez el día 3 de marzo de 2005
[Erdos 2005]	Erdos, R. 2005. Human Factors: Test pilot's viewpoint. Avionics. February 2005. Volumen 29, Nª2. Página 54.
[Eriksen y Hake 1955]	Eriksen, C.W. y Hake, H.N. 1955. <i>About absolute judgements as a function of stimulus range and number of stimulus and response categories</i> . Journal of Experimental Psychology, 49, páginas 323-332.
[Eriks y Yeh 1985]	Eriks, C.W. y Yeh, Y. 1985. <i>Allocation of attention in the visual field</i> . Experimental Psychology: Human Perception and Performance 11, páginas 583-597.
F	
[FAA DOT 1981]	FAA DOT. 1981. <i>Aircraft Alerting Systems Standardization Study. Volume II. Aircraft Alerting Systems Design Guidelines</i> .
[FAA HFDG 2005]	FAA HFDG FAA. 2005. Human Factors Design Guide
[Fabiani et al., 1989]	Fabiani, M., Buckley, J., Gratton, G., Coles, M.G.H., Donchin, E. y Logie, R., 1989. The training of complex task performance. Acta Psychologica, volumén 71, páginas 259-299.
[Fitts y Posner 1967]	Fitts, P. M. y Posner, M.A. 1967. <i>Human Performance</i> . Ed. Brooks Cole
[Foster 1970]	Foster, K.I 1970. <i>Visual Perception of rapidly presented word sequences of varying complexity</i> . Perception and Psychophysics 8, páginas 215-221
[Funk 1991]	Funk, K. H. 1991. Cockpit Task Management: Preliminary Definitions, Normative Theory, Error Taxonomy, And Design Recommendations. The International Journal of Aviation Psychology, 1(4), páginas 271-285.

[Funk y Braune 1999]	Funk, K. H. y Braune, R. 1999. <i>The AgendaManager: A knowledge-based system to facilitate the management of flight deck activities</i> . SAE and the American Institute in Aeronautics and Astronautics, Inc., 1999-01-5536. 1999 World Aviation Congress, San Francisco, CA.
G	
[Gadner 1974]	Garner, W.R. 1974. <i>The processing of information and structure</i> . Hillsdale, NJ. Erlbraun
[Garrison 1994]	Garrison, Peter.1994. Revista <i>Flying</i> número 121:12, página 112
[Gillie y Broadbent 1985]	Gillie, T. y Broadbent, D. 1985. <i>What makes interruption disruptive? A study of length, similarity and complexity</i> . Psychological Research 50, páginas 583-597
[Goodman et al. 1999]	Goodman,M. J., Tijerina, L., Bents, F. D. y Wierwille, W. W. 1999, <i>Using cellular telephones in vehicles: safe or unsafe?</i> Transportation Human Factors, volumen 1, páginas 3--42.
[Gopher 1991]	Gopher, D. 1991. <i>The skill of attention control: acquisition and execution of attention strategies</i> . En D. Meyer & S. Kornblum (Eds.), Attention and Performance IVX. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
[Gopher y Donchin 1986]	Gopher, D., & Donchin, E. 1986. <i>Workload: An examination of the concept</i> . In KR Boff et al. (Eds.), Handbook of perception and performance, Vol. II
[Gore y Jarvis. 2005]	Gore, B.F., y Jarvis, P.A. 2005. <i>New integrated modeling capabilities: MIDAS' recent behavioral enhancements</i> . En Proceedings of the 8th Annual SAE International Conference and Exposition - Digital Human Modeling for Design and Engineering, June 14-16, 2005, Iowa City, Iowa,(SAE Paper # 2005-01-2701).
[Gray y Saltzman 1998]	Gray, W., y Saltzman, M. 1998. <i>Damage merchandise? A review of experiments that compare usability evaluation methods</i> . Human Computer Interaction 13, 3, páginas 203-261.
[Green 1983]	Green, M. 1983. <i>Report on Dialogue Specification Tools</i> . En G. E. Pfaff, editor, User Interface Management Systems: Proceedings of the Workshop on User Interface Management Systems. FRG, páginas 9-20. Sringer-Verlag
[Green 1999]	Green, P. 1999. <i>The 15-second rule for driver information systems</i> . In Proceedings of the ITS America Nineth Annual Meeting. Washington, DC
[Green y Swets, 1966]	Green, D.M. y Swets, J.A. 1966 <i>Signal detection theory and psychophysics</i> . New York: Wiley
[Greenberg y Fitchett 2001]	Greenberg, S. y Fitchett, C. 2001. <i>Phidgets: easy development of physical interfaces through physical widgets</i> . En Proceedings of the ACM Conference on user Interface Software and Technology (UIST'01)

[Greteher y Baker 1972]	Greteher, W. y Baker, C.A. 1972. <i>Visual presentation of information</i> . En ediciones H.P Van Cott & R. G. Kinkade, Human engineering guide to system design. Washington, DC. U.S. Government Printing Office.
[Gruber 1995]	GRUBER, T. R. 1995. <i>Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing</i> en International Journal of Human and Computer Studies, Volumen 43 (5-6), páginas.907-928
[Grudin 1992]	Grudin J.1992. <i>Utility and usability: Research issues and development contexts</i> . Interacting with computers 4. Páginas 209-217
[Gutwin y Greenberg 2000]	Gutwin, C. y Greenberg, S. 2000. <i>The effects of Workspace Awareness Support on the Usability of Real-Time Distribute Groupware</i> . Acm Transactions on Computer-Human Interaction, Vol 6 nº 3, páginas 243-281.
H	
[Hart y Staveland 1988]	Hart, S.G. & Staveland, L.E. (1988) <i>Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research</i> . In P.A. Hancock & N. Elsevier Science Publishers, B.V.: North-Holland.
[Harrison et al. 1995]	Harrison, B. L., Ishii, H., Vicente, K.J., y Buxton, W.A.1995. <i>Transparent layered user interfaces: An evaluation of a display design to enhance focused and divided attention</i> . En Conference Proceedings on Human factors in Computing Systems (CHI'95). ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., páginas 317-324.
[Healy et al. 1996]	Healy, C.G., Booth, K.S., y Enns, J.T. 1996. <i>High-speed visual estimation using preattentive processing</i> . ACM Transactions on Human-Computer Interaction, 3, 2, páginas 107-135
[Healy y Enns 1999]	Healy, C.G., y Enns, J.T. 1999. <i>Large datasets at a glance: Combining textures and colors in scientific visualization</i> . IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 5, 2, páginas 145-167
[Hendy, Liao y Milgram, 1997]	Hendy, K. C., Liao, J. Y Milgram, P. 1997, <i>Combining time and intensity effects in assessing operator information-processing load</i> , Human Factors, Volumen 39, páginas 30-47.
[He e loerger, 2003]	He, L. y loerger, T. R. 2003. <i>A Quantitative Model of Capabilities in Multi-Agent Systems</i> . International Conference on Artificial Intelligence (ICAI), Páginas 730-736. Las Vegas.
[HFDS 2003]	HFDS: Human Factors Group de la FAA.. 2003. <i>Human Factors Design Standard (HFDS) for Acquisition of Commercial-off-the-Shelf (COTS) Subsystems, Non-Developmental Items (NDI), and Developmental Systems</i> .
[Hix y Hartson 1993]	Hix D. y Hartson H. R., 1993. <i>Developing User Interfaces: Ensuring Usability through Product and Process</i> . Editorial John Wiley

[Hom 1998]	Hom, J. 1998. <i>The usability methods toolbox</i> . http://www.best.com/~jthom/usability/usable.htm . Visitado por última vez el 29 de marzo de 2.006
[Horvitz y Apacible, 2003]	Horvitz, E., Apacible. 2003. <i>Learning and reasoning about interruption</i> .
[Horvitz 1999]	Horvitz, E. 1999. Principles of mixed-initiative user interfaces. En proceeding of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'99), páginas 159-166, Mayo de 1999
[Horvitz et al. 1999]	[Horvitz, E., Jacobs, A., y Hovel, D. 1999. <i>Attention-sensitive alerting</i> . En Conference on Uncertainty and Artificial Intelligence (UAI'99) páginas 305-313.
[Howes y Young, 1997]	Howes, A. y Young, R.M. 1997. <i>The role of cognosctive architecture in modeling the user : SOAR's learning mechanism</i> . Human Computer Interaction. 12, páginas 331-343.
[Hutchins et al. 1987]	Hutchins, E., Holland, J.D. y Norman, D.A. 1987. <i>Direct manipulation interfaces</i> . En ediciones D.A. Norman y S.W. Draper User centered design. Páginas 87-124
I	
[ILARD 2000]	ILARD.2000. <i>Integral Lighting Applicable Requirement Document</i>
[Ishii y Ullmer 1997]	Ishii, H. y Ullmer, B. <i>Tangible bits: toward seamless interfaces between people, bits and atoms</i> . En Proceedings of CHI'97, páginas 234-241
[ISO 9241-10 1996]	INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION 1996 <i>Ergonomic requirements for office work with visual display terminals, part 10</i>
[ISO 9241-11 1999]	INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION 1999. <i>Ergonomic requirements for office work with visual display terminals, part 11: Guidance on usability</i> .
[ISO 9241-15 1996]	INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION 1996 <i>Ergonomic requirements for office work with visual display terminals, part 15</i>
[Ivory y Hearst 2001]	Melody Y. Ivory And Marti A. Hearst <i>The State of the Art in Automating Usability Evaluation of User Interfaces</i> . ACM Computing Surveys, Vol. 33, N° 4, diciembre 2001, páginas 470-516
J	
[Jeffries et al. 1991]	Jeffries, R., Miller, J. R., Wharton, C., And Uyeda, K. M. 1991. <i>User interface evaluation in the real world: A comparison of four techniques</i> . In Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems (New Orleans, LA, April), pp. 119–124. New York, NY:ACM Press.

[Jonson y Englebeck 1999]	Jonson, J. y Englebeck, G. 1989. <i>Modes Survey Results</i> , SigCHI Bulletin 20:4, páginas 38-50.
[Juola et al. 1982]	Juola, J. F., Ward, N. J., And Mcnamara, T. 1982. <i>Visual search and reading of rapid serial presentations of letter strings, words, and text</i> . J. Exper. Psych. General 111, 2, páginas 208–227
K	
[Kanfer y Ackerman 1989]	Kanfer, R. y Ackerman P.L 1989. <i>Motivation and Cognitive Abilities: An Integrative/Aptitude-Treatment Interaction Approach to Skill Acquisition</i> . Journal of Applied Psychology, Volumen 74, Número. 4, páginas 657-690.
[Kanheman, 1973]	
[Kieras 2005]	Kieras, D. 2005. <i>A survey of Cognitive Architectures</i> . http://hcc.cc.gatech.edu/taxonomy . Visitado por última vez el 13 de Julio de 2.006
[Kieras et al. 2001]	Kieras, D., Meyer, D., Ballas J., 2001. <i>Towards Demystification of Direct manipulation: Cognitive Modeling Charts the Gulf of Execution</i> . CHI'2001 Volumen N° 3, Edición 1, páginas 128-135
[Kindell y La Follete 1972]	Kindel, H.L y La Follete, P.S. 1972. Visual research patterns and expertise with radiological images. Radiology, Vol. 103, páginas 523-528.
[Kleinman et al. 1992]	Kleinman, D., Luh, P.B., Pattipati, K.R., y Serfaty, D. 1992. <i>Mathematical models of team performance: A distributed decision-making approach</i> . En Teams: Their Training and Performance. R. Sweezy and E. Salas (eds.). New York: Ablex.
L	
[Laird y Rosenbloom, 1996]	Laird, J.E. y Rosenbloom, P.S. , 1996. <i>The evolution of the SOAR cognitive architecture</i> . En ediciones D. Steier y T.M. Mitchell, Mind Matters: A tribute to Allen Newell , páginas 1-50, Mahwah, NJ:Erlbaum.
[Laird et al. 1987]	Laird, J.E., Newell, A y Rosenbloom, P.S. 1987. <i>SOAR: An architecture for general intelligence</i> . Artificial Intelligence, volumen 33, páginas 1-64.
[Landauer 1987]	Landauer, T. K. 1987. <i>Relations between cognitive psychology and computer system design</i> . En Interfacing Though: Cognitive aspects of Human-Computer Interaction, J.M. Carroll, Ed. MIT Press, Cambridge, páginas 1-25
[Lewis 1974]	Lewis, Thomas. 1974. <i>The lives of a Cell</i> . Viking Press. Nueva York.
[Liu y Wickens 1992]	Liu, Y. y Wickens, C.D. 1992. <i>Visual scanning with or without spatial uncertainty and divided and selective attention</i> . Acta Psychologica, volumen 79, páginas 131-153

[Loftus 1979]	Loftus, Elizabeth F. 1979. <i>Eyewitness Testimony</i> . Harvard University Press
[Loftus, Dark y Williams, 1979]	Loftus, G.R., Dark, V.J. y Williams, D. 1979. <i>Short-term memory factors in ground controller/pilot communication</i> . Human Factors, volumen 21, páginas 169-181.
[Loukopoulos et al. 2001]	Loukopoulos, L. D., Dismukes, R.K. y Barshi, I. 2001. Cockpit Interruptions And Distractions: A Line Observation Study. Proceedings of the 11 th International Symposium on Aviation Psychology, Columbia, Ohio. Marzo de 2001
[Luce 1994]	Luce, R. D. 1994. <i>Thurstone and sensory scaling: Then and now</i> . Psychological Review, vol. 101, páginas 271-277.
M	
[Macintyre et al. 2001]	Macintyre, B., Mynatt, E. D., Volda, S., Hansen, K. M., Tullio, J., And Corso, G.M. 2001. <i>Support for multitasking and background awareness using interactive peripheral displays</i> . En Proceedings of the 14th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '01). ACM Press, páginas 41-50
[Mack y Nielsen 1994]	Mack, Robert L., Nielsen Jakob. 1994. <i>Executive Summary Usability Inspection Methods</i> editado por Jakob Nielsen y Robert L. Mack John Wiley & Sons, Inc.
[MacIntyre et al. 2001]	MacIntyre, B., Mynatt, E.D., Volda, S., Hansen, K.M., Tullio, J., y Corso, G.M. 2001. <i>Support for multitasking and background awareness using interactive peripheral displays</i> . En proceedings of the 14th Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'01). ACM Press, páginas 41-50
[MacLean et al. 1991]	MacLean, A., Young, R. M., Bellotti, V. M., y Moran, T. P. 1991. <i>Question, options, and criteria: Elements of design space analysis</i> . Human Computer Interactions 6, 3-4, páginas 201-250.
[Mackworth 1976]	Mackworth, N.H. 1976 <i>Ways of recording line of sight</i> . Ed. R.A. Monty & J.W. Senders. Eye movements and psychological processing, páginas 173-178.
[Maesh 1996]	Mahesh, K. 1996. <i>Ontology Development for Machine Translation: Ideology and Methodology</i> . Technical Report. MCSS 96-292. New Mexico State University, Las Cruces, NM: Computing Research Laboratory.
[Mankoff et al. 2003]	Mankoff, J., Dey, A.K., Hsieh, G., Kientz, J., Lederer, S., Ames M. 2003. <i>Heuristic Evaluation of Ambient Displays</i> . CHI 2003 Volume nº 5, Issue nº 1, páginas 169-176
[Marr 1982]	Marr, D. 1982. <i>Vision</i> . Editorial W. H. Freeman and Co. Nueva Cork
[Mayhew 1999]	Mayhew, Deborah J. 1999. <i>The Usability Engineering Lifecycle</i> .

	Editorial MKP
[McCrickard 1999]	McCrickard, D. S. 1999. <i>Maintaining information awareness with Irwin</i> . En Proceedings of the World Conference on Educational Multimedia/Hypermedia and Educational Telecommunications (ED-MEDIA'99)
[McCrickard et al. 2003a]	McCrickard D. S., Chewar C. M., Somerwell Jacob P., Ndiwalana Ali. 2003. <i>A model for notification systems evaluation – Addressing user goals for multitasking activity</i> . ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI) Vol 10 N° 4 December, 2003 Pages 312-338
[McCrickard et al. 2003b]	McCrickard, D.S., Czerwinski, M. y Bartram, L. 2003. <i>Introduction: Design and evaluation of notification system interfaces</i> . International Journals of Human-Computer Studies 8, 5, páginas 509-514
[Megan y Richarson 1979]	Megan, E.D. y Richarson, J. 1979. <i>Target uncertainty and visual scanning strategies</i> . Human Factors, Volumén 21, páginas 303-316.
[Meyer y Kieras 1997]	Meyer, D. y Kieras, D. 1997. <i>A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 1</i> . Psychologie Revue 104, páginas 3-65.
[Miller 1956]	Millar, G. 1956. <i>The magical number seven plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information</i> . Psychological review, vol 63, páginas 81-97.
[MIL743]	MIL Handbook. Anthropometry of US Military Personnel
[MIL-PRF-22885 1998]	MIL-PRF-22885. 1998. General performance specification for illuminated push button switches.
[Molich et al. 1999]	Molich, R., Bevan, N., Butler, S., Curson, I., Kindlund, E., Kirakowski, J., And Miller, D. 1998. <i>Comparative evaluation of usability tests</i> . In Proceedings of the UPA Conference (Washington, DC, June), pp. 189–200. Usability Professionals' Association, Chicago, IL.
[Molich et al. 1998]	Molich, R., Thomsen, A. D., Karyukina, B., Schmidt, L., Ede, M., Van Oel, W., And Arcuri, M. 1999. <i>Comparative evaluation of usability tests</i> . In Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems (Pittsburgh, PA, May), pp. 83–86. New York, NY: ACM Press.
[De Montmollin 1984]	De Montmollin, M. 1984. <i>Modèle' est ici défini comme ensemble organisé de concepts qui définissent, pour l'ergonome, l'objet de son étude; ensemble qui s'inscrit, parfois, dans un cadre théorique et qui s'accompagne de méthodes</i> .
[Moray, 1986]	Moray, N. 1986. <i>Monitoring behaviour and supervising control</i> . En ediciones K.R. Boff, L. Kaufman y J.P. Thomas. Handbook of perception and human performance. New Cork: Wiley.
[Moray et al. 1991]	Moray, N., Dessouky, M. I., Kijowski, B. A., y Adapathya, R. 1991.

	<i>Strategic Behavior, Workload, And Performance In Task Scheduling.</i> Human Factors, volumen 33(6), páginas 607-629.
[Mulligan et al. 1991]	Mulligan, R. M., Altom, M. W., y Simkin, D. K. 1991. <i>User interface design in the trenches: Some tips on shooting from the hips</i> . Proceedings of ACM CHI'91 Conference New Orleans, Páginas 232-236
N	
[Naur 1963]	Naur, P. 1963. Report on the ALGOritmic Language ALGOL 60. ACM, 6, nº 1, páginas 1-17
[Navon y Gopher 1979]	Navon, D. y Gopher, D. 1979. <i>On the economy of the human processing systems.</i> Phycological review, 86, páginas 245-255.
[Newell 1990]	Newell, A. 1990. <i>Unified Theories of Cognition: The 1987 William James Lectures.</i> Harvard University Press, Cambridge
[Newman 1997]	Newman, W.M. 1997. <i>Better or just different? On the benefits of designing interactive systems in terms of critical parameters.</i> En Proceedings of the Conference on Designing Interactive Systems: Processes, Practices, Methods, and Techniques (DIS '97). ACM Press, páginas 239–245
[Newman y Lamming 1995]	Newman, W., y Lamming, Michael G. 1995. <i>Interactive System Design.</i> Editorial Adison-Wesley
[Newman et al. 2000]	Newman, W.M., Taylor, A. S., Dance, C. R. y Taylor, S.A. <i>Performance targets, models and innovation in interactive system design.</i> En Proceedings of the Conference on Designing Interactive System (DIS'00), páginas 381-387.
[Nielsen 1993]	Nielsen, J. 1993. <i>Usability Engineering.</i> Academic Press
[Nielsen 1994]	Nielsen , Jakob. 1994. <i>Heuristic Evaluation Usability Inspection Methods.</i> Editado por Jakob Nielsen and Robert L. Mack John Wiley & Sons, Inc.
[Nielsen 1996?]	Nielsen, J. 1996? <i>Guerrilla IHC: Using discount usability engineering to penetrate the intimidation barrier.</i> En Cost-Justifying Usability, editado por Bias, R. G. And Mayhew, D. J., páginas 245-272. Boston: Academic Press
[Nielsen y Landauer 1993]	Nielsen, J., y Landauer, T. K. 1993. <i>A mathematical model of the finding of usability problems.</i> Proceedings ACM/IFIP INTERCHI'93 Conference (Amsterdam, The Netherlands, April 24-29), páginas 206-213.
[Nielsen y Mack 1994]	Nielsen J., Mack R., 1994. <i>Executive Summary en Usability Inspection Methods.</i> Editado por Nielsen J., Mack R., John Wiley & Sons, Inc.
[NIST 1999]	NIST.June, 1999. Common Criteria for Information Technology

	Security Evaluation (CC 2.1)
[Norman 1988]	Norman, D.A. 1988. <i>The psychology of everyday things</i> . New York: Harper & Row.
[Norman y Bobrow, 1975]	Norman, D.A., & Bobrow, D.J. (1975). On data-limited and resource-limited processes. <i>Cognitive Psychology</i> , 7, páginas 44-64.
O	
[O'Donnell y Eggemeier 1986]	O'Donnell, R.D. y Eggemeier, F.T. 1986. <i>Workload assessment methodology</i> . En K.R. Boff, L. Kaufman, and J. Thomas, Eds., <i>Handbook of Perception and Human Performance: Volumen II. Cognitive Processes and Performance</i> . New York: John Wiley, Capítulo 42.
P	
[Parasuraman 1986]	Parasuraman, R. 1986. <i>Vigilance, monitoring and search</i> . Handbook of perception and human performance. Editorial K.R. Boff, L. Kaufman y J.P. Thomas. New York
[Parkes y Coleman 1990]	Parkes, A. M. y Coleman, N. 1990, <i>Route guidance systems: a comparison of methods of presenting directional information to the driver</i> , Ediciones E. J. Lovesey, Contemporary Ergonomics 1990 (London: Taylor & Francis), páginas 480-485.
[Popper, 1963]	Popper Karl R., 1963 <i>Conjeturas y refutaciones</i>
[Povenmire y Roscoe, 1973]	Povenmire, H.K. y Roscoe, S.N.1973. <i>Incremental transfer effectiveness of a ground-based general aviation trainer</i> . Human factors, volumen, 15, páginas 534-542.
[Preece et al. 2002]	Preece, J., Rogers, Y. y Sharp, H. 2002. <i>Interaction design: beyond human-computer interaction</i> . John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-49278-7
[Prates et al. 2000]	Prates R., de Souza C, Barbosa S. 2000. <i>A Method for Evaluating the Communicability of User Interfaces</i>
R	
[Rabin y Wicknes 1994]	Raby, M. y Wickens, C. D. 1994. <i>Strategic Workload Management And Decision Biases In Aviation</i> . IJAP, 4(3), páginas 211-240.
[Raskin 2000]	Raskin, Jef. 2000. <i>The Human Interface. New directions for designing Interactive Systems</i> . Editorial Addison-Wesley ISBN 0-201-37937-6
[Rasmussen 1986]	Rasmussen, J. 1986, <i>Information Processing and Human-Machine Interaction: an Approach to Cognitive Engineering</i> (New York: North-Holland).
[Redström et al. 2000]	Redström, J., Skog, T., y Hallnäs, L. 2000. <i>Informative Art: using amplified artworks as information displays</i> . En Proceedings of DARE

	2000 on designing Augmented Reality Environments. ACM Press, páginas 103-114.
[Rhodes y Maes 2003]	Rhodes, B. y Maes, P. 2003. <i>Just-in-time information retrieval agents</i> . IBM Syst. J. 39, 3-4, páginas 685-704.
[Rhodes et al. 1999]	Rhodes, B., Minar, N. y Weaver, J. 1999. <i>Wearable computing meets ubiquitous computing: reaping the best of both worlds</i> . En Proceedings of the Third International Symposium on Wearable Computers (ISWC'99), San Francisco, páginas 141-149
[Rogers y Monsell 1995]	Rogers, D. y Monsell, S. <i>Cost of a predictable switch between simple cognitive tasks</i> . Journal of Experimental Psychology: General, Volumen 124, páginas 207-231.
[Romanski 2000]	Romanski, G. 2000. <i>High Integrity Software for High Integrity Systems</i> . SIGAda 2000
[Roth y Woods 1.988]	Roth, E. M. y Woods, D. D. 1.988. <i>Aiding human performance: I. Cognitive analysis</i> . Le Travail Humain, 51, páginas 39-64.
[Rudisill et al. 1996]	Rudisill, M., Lewis, C., Polson, P., y McKay, T. 1996. <i>Human-Computer Interface Design: Success Stories, Emerging Methods and Real World Context</i> . Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco.
S	
[Sánchez-Puebla 2005]	Sánchez-Puebla, M. 2005. <i>A400M CORD Alerts & ECAM</i> . ©AMSL
[Schneider 1985]	Schneider, W. 1985. <i>Training high-performance skills: fallacies and guidelines</i> . Human factors, volumen 27, páginas 285-300.
[Scheindewind 1992]	Schneidewing, N.F. 1992. <i>Methodology For Validating Software Metrics</i> . IEEE Transactions on Software Engineering, Vol. 18, No. 5, Mayo de 1.992
[Shackel 1991]	Shackel, B. 1991. <i>Usability-Context, framework, definition, design and evaluation</i> . <i>Human Factors for Informatics Usability</i> . Editado por Shackel, B., y Richardson, S. Cambridge University Press, páginas 21-37
[Shannon y Weaver 1949]	Shannon, C.E. y Weaver, W. 1949. <i>The mathematical theory of communication</i> . Urbana: University of Illinois Press.
[Shiffrin y Nosofsky 1994]	Shiffrin, R.M. y Nosofsky, R.M. 1994. <i>Seven plus or minus two: A commentary on capacity limitations</i> . Psychological review, 101, páginas 357 – 361.
[Siegle y Siegle 1972]	Siegle, J.A. y Siegle, W. 1972. <i>Absolute judgement and paired associated learning: Kissing cousins or identical twins?</i> . Psychological review, vol. 79, páginas 300-316.
[Sierra, 1986]	R. Sierra. <i>Tesis doctorales y trabajos de investigación científica</i> .

	Thomson editores Spain Paraninfo, S.A., 1986.
[Stanton y Edworthy 1994]	Stanton, N., y Edworthy, J. (1994). <i>Towards a methodology for constructing and evaluating representational auditory alarm displays</i> . Contemporary Ergonomics, páginas 360-365.
[Steve et al. 1998]	Steve, G.; Gangemi, A.; Pisanelli, D. (1998). <i>Integrating Medical Terminologies with ONIONS Methodology</i> . http://saussure.irmkant.rm.cnr.it
[Sutcliffe 2000]	Sutcliffe, Alistair. 2000. <i>On the Effective Use and reuse of IHC knowledge</i> . ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Volumen 7, Nº 2, Junio 2000, páginas 197-221.
T	
[Thompson 1981]	Thompson, D. A. 1981. <i>Commercial aircrew detection of system failures: State of the art and future trends</i> . En ediciones J. Rasmussen & W. B. Rouse , Human detection and diagnosis of system failures. New York.
[Tinker 1955]	Tinker, M.A. 1955. <i>Prolonged reading tasks in visual research</i> . Journal of Applied Psychology, vol. 39, páginas 444-446.
[Tsang y Wilson 1997]	Tsang P. and Wilson, G.F. 1997 . <i>Mental Workload, in Handbook of Human Factors and Ergonomics</i> , Segunda Edición. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons INC. páginas 417-449.
[Tufano 1997]	Tufano, D. R. 1997, <i>Automotive HUDs: the overlooked safety issues</i> , Human Factors, Volumen 39, páginas 303-311.
[Tullis 1983]	Tullis, Thomas S. 1983 <i>Predicting the Usability of Alphanumeric Displays</i> . Discurso de tesis doctoral. Universidad de Rice
[Turnbull et al. 2003]	Turnbull, Douglas G., Chewar, C. M., y McCrickard, D. Scott . 2003. <i>Are Cognitive Architectures Mature Enough to Evaluate Notification Systems?</i> . 2003 International Conference on Software Engineering Research and Practice (SERP 2003) Las Vegas NV, Junio de 2.003
V	
[Vartabedian 1972]	Vartabedian, A.G. 1972. <i>The effects of letter size, case, and generation method on CRT display search time</i> . Human Factors, volumen, 14, páginas 511-519.
[van Dantzich et al. 2002]	van Dantzich, M., Robbins, D., Horvitz, E., y Czerwinski, M. 2002. <i>Scope: Providing awareness of multiple notifications at a glance</i> . En Proceedings of the 6 th International Working Conference on Advanced Visual Interfaces
[Vollard 2003]	Vollard, C. 2003. <i>A400M Workload Assesment Methodology</i> . ©Airbus
W	

[Walker y Fisk 1995]	Walker, N. y Fisk, A.D. 1995. <i>Human factors goes to Gridiron. Ergonomics and design</i> . Páginas 8-13.
[Weigand 1997]	Weigand, H. 1997. <i>Multilingual Ontology-Based Lexicon for News Filtering –The TREVI Project</i> , 138-159.
[Weiser y Brown 1996]	Weiser, M. y Brown, J.S. 1996. <i>Designing calm technology</i> . PowerGrid Journal 1.01
[Wharton et al. 1994]	Wharton C., Rieman J., Lewis C., Polson P. 1994. <i>The Cognitive Walkthrough Method: A Practitioner's Guide</i> . En <i>Usability Inspection Methods</i> editado por Nielsen J., Mack R., John Wiley & Sons, Inc.
[Whitefield et al. 1991]	Whitefield, A., Wilson, F., y Dowell, J. 1998? . <i>A framework for human factors evaluation</i> . Behaviour & Information Technology 10, 1 (January – February) páginas 65-79
[Whiteside 1994]	Whiteside J., Bennet J. & Holtzblatt K. 1994?. <i>Usability engineering: our experinece and evolution</i> . En Handbook of Human-Computer Interaction . Editorial Helander M. Páginas 791-817
[Wickens 1999]	Wickens, C.D. 1999. <i>Attention, time-sharing, and workload</i> . En Engineering Psychology and Human Performance. Ediciones C.D. Wickens y J.G. Hollands. Prentice Hall, páginas 439-479.
[Wickens 2002]	Wickens, C.D. 2002. <i>Multiple resources and performance prediction</i> . Theoretical Issues in Ergonomic Science, 2002, Volume 3, número 2, páginas 159-177
[Wickens et al. 2002]	Wickens, C. D., Helleberg, J. y Xu, X. 2002, <i>Pilot maneuver choice and workload in freeflight</i> , Human Factors, Volumen 44.
[Wickens y Hollands 2000]	Wickens, C.D. y Hollands, J.G. 2000. <i>Engineering Psychology and Human Performance</i> . 3ª edición Editorial Prentice Hall. ISBN 0-321-04711-7
[Wixon et al. 1994]	Wixon D., Jones S., Tse L., Casaday G., 1994. <i>Inpections and Design Reviews: Framework, History, and Reflection en Usability Inspection Methods</i> . Editado por Nielsen J., Mack R., John Wiley & Sons, Inc.
[Wright y Monk 1991]	Wright, P.C. y Monk A.F. 199. <i>A cost-effective evaluation method for use by designers</i> , Intl. J.Man-Machine Studies 35,6 (December), páginas 891-912.]
X	
[XML W3C 2004]	XML W3C Yergeau F., Bray T., Paoli J., Sperberg-McQueen, C. M., Maler E. 2004. <i>Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Third Edition) W3C Recommendation</i> . http://www.w3.org/TR/2004/REC-xml-20040204/ . Visitado el 23 de marzo de 2.006
Y	
[Young y Stanton	Young, M. S. y Stanton, N. A. 1997, <i>Automotive automation:</i>

1997]	<i>investigating the impact on driver' mental workload</i> , International Journal of Cognitive Ergonomics, Volumen 1, páginas 325-336.
-------	---

8. Anexos

I. Interfaz del marco de evaluación

Marco de evaluación aplicado a la interfaz de la planta de potencia del A400M
[PwP_A400M](#)

- ✦ [Componentes de la interfaz](#)
- ✦ [Usabilidad: Percepción sensorial y confirmación de acciones](#)
- ✦ Parámetro 1: Complejidad y sobrecarga de la información
 - Información transmitida:
 - [Semiótica](#)
 - [Redundancia](#)
 - Consistencia:
 - [Repetición de mensajes](#)
- ✦ Parámetro 2: Multitarea.
 - [Sobrecarga en los usuarios](#)
 - [Sobrecarga en los componentes](#)
 - [Interferencia entre tareas](#)
- ✦ Parámetro 3: Comportamientos modales, múltiples opciones y hábitos
 - [Modos](#)
- ✦ Parámetro 4: Contexto y prioridades
 - [Principio de inhibición](#)
 - [Definición de estados de seguridad](#)
- ✦ Parámetro 5: Degradación y Pérdida de rendimiento
- ✦ Parámetro 6: Interfaz compartida por más de un usuario

Componentes de la interfaz

Componentes de la interfaz :

0. SINÓPTICO
1. INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO
2. VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO
3. ETIQUETA_TQ
4. LECTURA_DIGITAL
5. AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ
- ...Componentes hijos :
5. 0.DIAL_5_POSICIONES
5. 1.SECTOR_GRIS
5. 2.SECTOR_BLANCO
5. 3.TENDENCIA_TQ
5. 4.ACENTUAR_TQ
5. 5.POSICIÓN_PALANCA
6. SECTOR_GRIS
7. SECTOR_BLANCO
8. TENDENCIA_TQ
9. ACENTUAR_TQ
10. DIAL_5_POSICIONES
11. POSICIÓN_PALANCA
12. VALOR_PORCENTUAL_TQ
13. INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
14. INDICACIÓN_REVERSA
15. INDICACIÓN_PILOTO_AUTOMÁTICO
16. ETIQUETA_NP
17. VALOR_NUMÉRICO_NP
18. INDICACIÓN_ABANDERAMIENTO
19. ETIQUETA_ÉGT
20. VALOR_PORCENTUAL_ÉGT
21. DIAL_3_POSICIONES_ÉGT
22. VALOR_NUMÉRICO_ÉGT
23. AGUJA_ÉGT
- ...Componentes hijos :
23. 0.DIAL_3_POSICIONES_ÉGT
24. CAJA_DE_TEXTO
25. MENSAJE_FWS
26. CAJA_ATRACCIÓN
27. MASTER_LIGHT
28. CAUTION_LIGHT
29. PANTALLA_DE_AVISOS
30. SINGLE_CHIMÉ
31. REPETITIVE_CHIME
32. MENSAJE_VOZ

II. Ejemplo de caracterización XML de un SNA

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<interfaz_notificacion>
- <!--
  Panatalla de parametros y mensajes de la planta de potencia
  -->
<estandares>
<estandar info="">ISO 9241</estandar>

<estandar info="Required powerplant instruments must be closely grouped on the
instrument panel. In addition: (1) The location of identical powerplant
instruments for the engines must prevent confusion as to which engine each
instrument relates; and (2) Powerplant instruments vital to the safe operation
of the aeroplane must be plainly visible to the appropriate crew
members.">CS25.1321c</estandar>
<estandar info="">AP 2080</estandar>
</estandares>
<heurísticas>
<heurística>Need to Know</heurística>
<heurística>Minimal Information</heurística>
<heurística>Dark Interface</heurística>
</heurísticas>
<reglas_de_interaccion>
- <!--
  Regla 1: Patrones 1, 2 y 3 siempre visibles
  -->

<regla descriptor="Regla 1" visible="siempre" independiente="si">
<Aplicable_A>
<Patron>Patron 1</Patron>
<Patron>Patron 2</Patron>
<Patron>Patron 3</Patron>
</Aplicable_A>
</regla>
- <!--
  Regla 2: patron 4: solo visible de forma automatica si se produce un error
  o condicion anormal
  -->

<regla descriptor="Regla 2" visible="siempre" independiente="si">
<Aplicable_A>
<Patron>Patron 1</Patron>
<Patron>Patron 2</Patron>
<Patron>Patron 3</Patron>
</Aplicable_A>
</regla>
- <!--
  regla 3: patron 5: visible si se produce un error o condicion anormal y se
  incluye un mensaje
  -->

<regla descriptor="Regla 3" visible="Si error" independiente="no" Aplicable_A="">
<Aplicable_A>
<Patron>Patron 1</Patron>

```

```

</Aplicable_A>
</regla>
</reglas_de_interaccion>
= <Multiusuario>
<usuario acceso="Total" rol="principal" habilidades_cognitivas="0.5" MC="1.0"
  experiencia="5">Piloto</usuario>
<usuario acceso="Notificacion" rol="secundario" habilidades_cognitivas="1" MC="1.5"
  experiencia="12">Copiloto</usuario>

<usuario acceso="Notificacion" rol="secundario" habilidades_cognitivas="1" MC="1.5"
  experiencia="3">Tercer Tripulante</usuario>
</Multiusuario>
= <patron_IHC descriptor="">
- <!--
  Limit mode indication: CLB 76.8. Campo de texto incluyendo informacion
  numerica
-->

= <patron_IHC descriptor="Indicacion de limitacion de modo">
- <!--
  Campo de texto
-->

= <patron_IHC descriptor="Indicacion de texto de limitacion de modo"
  confirmacion_de_acciones="si" modos="no" redundancia="si" realimentacion="si"
  automatizado="no" alfanumerico="si" graficos="no">
<objetivo>Indicacion</objetivo>
<objetivo>Monitorizacion</objetivo>
<accesibilidad visual="V1-1" auditiva="A2" tactil="T2" />
<estado operacion_normal="no" inicial="si" defecto="si"
  seguridad="no">ninguno</estado>
<estado operacion_normal="si" inicial="no" defecto="no"
  seguridad="no">MCL</estado>
<estado operacion_normal="si" inicial="no" defecto="no"
  seguridad="no">LNC</estado>
<estado operacion_normal="si" inicial="no" defecto="no"
  seguridad="no">MCT</estado>
<estado operacion_normal="si" inicial="no" defecto="no"
  seguridad="si">MCL</estado>
<estado operacion_normal="si" inicial="no" defecto="no"
  seguridad="no">DTO</estado>
<estado operacion_normal="si" inicial="no" defecto="no"
  seguridad="no">TOGA</estado>
<estado operacion_normal="si" inicial="no" defecto="no" seguridad="no">GA</estado>
<estado operacion_normal="si" inicial="no" defecto="no"
  seguridad="no">NTO</estado>
<estado operacion_normal="si" inicial="no" defecto="no"
  seguridad="no">UTO</estado>
<estado operacion_normal="si" inicial="no" defecto="no" seguridad="no">SD</estado>
<evento sistemas="si" operacion="si" externos="no">LNC_PB</evento>
<evento sistemas="si" operacion="si" externos="no">DTO_PB</evento>
<evento sistemas="si" operacion="si" externos="no">error</evento>
- <!--
  compatibilidad con el resto del Sw del sistema
-->

```



```

<compatibilidad />
<consistencia limpieza_de_notificacion="si" pierde_notificaciones="no" />

- <percepcion_sensorial descriptor="foreground" transparencias="si">
  <color>verde</color>
  <color>blanco</color>
  </percepcion_sensorial>

- <percepcion_sensorial descriptor="background" transparencias="no">
  <color>negro</color>
  </percepcion_sensorial>

- <percepcion_sensorial descriptor="notificacion" transparencias="no">
  <color>ambar</color>
  <color>rojo</color>
  </percepcion_sensorial>
- <!--

Una interfaz de notificacion debe tener 4 tareas: monitorizacion, atraer
la atencion del usuario, mostrar informacion util y reconocimiento
-->
- <!--
La evaluacion debe calcular el esfuerzo y la calidad
-->
- <!--
prioridad mas baja =1, prioridad mas alta=4
-->
- <!--
Estos coeficientes intervienen en funcion del escenario
-->
- <!--
monitorizacion: solo exige percepcion: perceptual
-->
- <tarea descriptor="monitorizacion" prioridad="1">
  <recursos VSF="si" VVF="si" VSA="no" VVA="no" AS="si" AV="no" CS="no" CV="si"
    RS="si" RV="no" />
  </tarea>
- <!--
mostrar informacion: procesamiento cognitivo y respuesta
-->
- <tarea descriptor="comprension" prioridad="2">
  <recursos VSF="no" VVF="si" VSA="no" VVA="no" AS="si" AV="no" CS="no" CV="si"
    RS="si" RV="no" />
  </tarea>
- <!--
reconocimiento: exige procesamiento: cognitivo
-->
- <tarea descriptor="reconocimiento" prioridad="3">
  <recursos VSF="no" VVF="si" VSA="no" VVA="no" AS="si" AV="no" CS="no" CV="si"
    RS="si" RV="no" />
  </tarea>
- <!--
atraer la atencion del usuario, la de prioridad mas alta. Exige percepcion
sensorial
-->

```

```

- < tarea descriptor="atractor de atencion" prioridad="4" tiempo="" >
  < recursos VSF="no" VVF="si" VSA="no" VVA="no" AS="si" AV="no" CS="no" CV="si"
    RS="si" RV="no" />
  </ tarea >
- <!--
  Descriptor de la Notificacion
  -->
- < notificacion prioridad="" >
- <!--
  numero de palabras de la informacion_asociada < 10
  -->

- < semiotica abreviaturas="SI" caracteres_especiales="SI" dominio="AP2866"
  unidades="km" minusculas="si" recortes="no" tamano_letra="8" info="" >
  < informacion_asociada />
- < dialogo superpuestos="no" tiempo_minimo="2" >
- <!--
  toda la lista de mensajes
  -->

- < mensaje descriptor="Power Rating legend" tipo="grafico" instalacion="h1"
  fidelidad="1.0" criticidad="A" probabilidad="1.0" >
  < atractor_de_atencion canal="visual" atributos="parpadeo" medio="pantalla"
  entrada="" salida="pantalla" />
  < realimentacion canal="visual" atributos="" medio="pantalla" entrada=""
  salida="pantalla" controles="botones de modo" />
- <!--
  clasificacion de seguridad segun los niveles de evaluacion definidos en
  Common Criteria
  -->
  < seguridad EAL="1" />
- <!--
  La evaluacion debe comprobar la unicidad de simbolos
  -->
  </ mensaje >

- < mensaje descriptor="Power Rating Maximum Value" instalacion="h1" fidelidad="1.0"
  criticidad="A" >
  < atractor_de_atencion canal="auditivo" atributos="repetitivo" medio="pantalla"
  entrada="" salida="pantalla" />
  < realimentacion canal="visual" atributos="" medio="pantalla" entrada=""
  salida="pantalla" controles="botones de modo" />
  < seguridad EAL="1" />
  </ mensaje >
  </ dialogo >
  </ semiotica >
  </ notificacion >
  </ patron_IHC >
  </ patron_IHC >
  </ patron_IHC >
- <!--
  id=1.1
  -->
- <!--
  Valor numerico
  -->

```

```
- <contextos>
<contexto peso="1.0">Basico</contexto>
<contexto peso="1.0">Salvamento y rescate</contexto>
<contexto peso="2.0">Aterrizaje en combate</contexto>
<contexto peso="1.0">Vuelo en formacion</contexto>
<contexto peso="1.0">Malas condiciones metereologicas</contexto>
<contexto peso="1.0">Vuelo nocturno</contexto>
- <!--
  NVG, combat suite, parachute
  -->
<contexto peso="1.0">Situaciones tacticas</contexto>
<contexto peso="1.0">Equipamiento de la tripulacion</contexto>
<contexto peso="1.5">Tanker</contexto>
<contexto peso="1.0">Configuracion de aviones</contexto>
<contexto peso="1.5">Fallos del sistema</contexto>
</contextos>
- <escenarios>
- <!--
  cockpit check
  -->
<escenario duracion="15">Comprobacion de Arranque</escenario>
<escenario duracion="15">Taxi y Despegue</escenario>
<escenario duracion="5">Climb</escenario>
<escenario duracion="25">Cruise</escenario>
<escenario duracion="5">Step Descent</escenario>
<escenario duracion="15">Lanzamiento de cargas</escenario>
<escenario duracion="15">Lanzamiento de paracaidistas</escenario>
<escenario duracion="10">Vuelo a baja cota</escenario>
<escenario duracion="5">Vuelo a muy baja cota</escenario>
<escenario duracion="15">Aproximacion" duracion</escenario>
<escenario duracion="5">Aterrizaje</escenario>
<escenario duracion="5">Comprobacion de apagado</escenario>
</escenarios>
</interfaz_notificacion>
```

III. Caracterización XSD de un componente de interfaz para un sistema de notificación en aviónica.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes" ?>
- <!--
W3C Schema generated by XMLSpy v2006 sp1 U (http://www.altova.com)
-->
- <xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
  elementFormDefault="qualified">
- <xs:schema xmlns:xs="/owl/AP2080Schema "
  elementFormDefault="qualified">
- <rdf:RDF xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:contact="http://www.w3.org/2000/10/swap/pim/contact#">
  </rdf:RDF>
- <xs:element name="Multiusuario">
- <xs:complexType>
- <xs:sequence>
- <xs:element ref="usuario" maxOccurs="unbounded" />
  </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  </xs:element>
- <xs:element name="accesibilidad">
- <xs:complexType>
- <xs:attribute name="visual" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="V1-1" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="auditiva" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:hexBinary">
  <xs:enumeration value="A1" />
  <xs:enumeration value="A2" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
  <xs:attribute name="táctil" type="xs:string" use="required" />
  </xs:complexType>
  </xs:element>
- <xs:element name="atractor_de_atención">
- <xs:complexType>
- <xs:attribute name="canal" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="auditivo" />
  <xs:enumeration value="visua," />
  <xs:enumeration value="visual" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>

```

```

<xs:attribute name="atributos" type="xs:string" use="required" />
- <xs:attribute name="medio" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="altavoz" />
- <xs:enumeration value="pantalla" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
<xs:attribute name="entrada" type="xs:string" use="required" />
<xs:attribute name="salida" type="xs:string" use="required" />
  </xs:complexType>
  </xs:element>
- <xs:element name="auditivo">
- <xs:complexType>
- <xs:attribute name="AS" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:decimal">
- <xs:enumeration value="+0.2" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
<xs:attribute name="AV" type="xs:string" use="required" />
  </xs:complexType>
  </xs:element>
- <xs:element name="coeficientes_de_interferencia">
- <xs:complexType>
- <xs:sequence>
- <xs:element ref="perceptual" />
- <xs:element ref="cognitivo" />
- <xs:element ref="respuesta" />
  </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  </xs:element>
- <xs:element name="cognitivo">
- <xs:complexType>
- <xs:attribute name="CS" type="xs:string" use="required" />
- <xs:attribute name="CV" type="xs:string" use="required" />
  </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="compatibilidad" type="xs:string" />
- <xs:element name="consistencia">
- <xs:complexType>
- <xs:attribute name="limpieza_de_notificación" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="si" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="pierde_notificaciones" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">

```

```

<xs:enumeration value="no" />
  </xs:restriction>
</xs:simpleType>
</xs:attribute>
</xs:complexType>
</xs:element>
- <xs:element name="contexto">
- <xs:complexType>
- <xs:attribute name="id" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="1" />
  <xs:enumeration value="10" />
  <xs:enumeration value="11" />
  <xs:enumeration value="2" />
  <xs:enumeration value="3" />
  <xs:enumeration value="4" />
  <xs:enumeration value="5" />
  <xs:enumeration value="6" />
  <xs:enumeration value="7" />
  <xs:enumeration value="8" />
  <xs:enumeration value="9" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="descriptor" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="aterriaje en combate" />
  <xs:enumeration value="básico" />
  <xs:enumeration value="configuración de avión" />
  <xs:enumeration value="equipamiento de la tripulación" />
  <xs:enumeration value="fallos del sistema" />
  <xs:enumeration value="malas condiciones metereológicas" />
  <xs:enumeration value="salvamento y rescate" />
  <xs:enumeration value="situaciones tácticas" />
  <xs:enumeration value="tanker" />
  <xs:enumeration value="vuelo en formación" />
  <xs:enumeration value="vuelo nocturno" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
  </xs:complexType>
</xs:element>
- <xs:element name="contextos">
- <xs:complexType>
- <xs:sequence>
  <xs:element ref="contexto" maxOccurs="unbounded" />
  </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
- <xs:element name="diálogo">
- <xs:complexType>

```

```

- <xs:sequence>
  <xs:element ref="mensaje" maxOccurs="unbounded" />
  </xs:sequence>
- <xs:attribute name="superpuestos" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="no" />
  <xs:enumeration value="si" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="tiempo_mínimo" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:byte">
  <xs:enumeration value="2" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
  </xs:complexType>
  </xs:element>
- <xs:element name="escenario">
- <xs:complexType>
- <xs:attribute name="id" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="1" />
  <xs:enumeration value="10" />
  <xs:enumeration value="11" />
  <xs:enumeration value="12" />
  <xs:enumeration value="13" />
  <xs:enumeration value="14" />
  <xs:enumeration value="2" />
  <xs:enumeration value="4" />
  <xs:enumeration value="5" />
  <xs:enumeration value="6" />
  <xs:enumeration value="7" />
  <xs:enumeration value="8" />
  <xs:enumeration value="9" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="descriptor" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="aproximación" />
  <xs:enumeration value="aterrizaje" />
  <xs:enumeration value="climb" />
  <xs:enumeration value="comprobación de apagado" />
  <xs:enumeration value="comprobación de arranque" />
  <xs:enumeration value="crucero" />
  <xs:enumeration value="lanzamiento de cargas" />
  <xs:enumeration value="lanzamiento de paracaidistas" />
  <xs:enumeration value="repostaje en vuelo" />

```

```

<xs:enumeration value="step descent" />
<xs:enumeration value="taxi y despegue" />
<xs:enumeration value="vuelo a baja cota" />
<xs:enumeration value="vuelo a muy baja cota" />
  </xs:restriction>
</xs:simpleType>
</xs:attribute>
- <xs:attribute name="duración" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="10" />
- <xs:enumeration value="15" />
- <xs:enumeration value="25" />
- <xs:enumeration value="30" />
- <xs:enumeration value="5" />
  </xs:restriction>
</xs:simpleType>
</xs:attribute>
</xs:complexType>
</xs:element>
- <xs:element name="escenarios">
- <xs:complexType>
- <xs:sequence>
- <xs:element ref="escenario" maxOccurs="unbounded" />
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:element>
- <xs:element name="estados">
- <xs:complexType>
- <xs:attribute name="normal" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="ninguno, MCL, LNC, MCT, DTO, TOGA, GA, NTO, UTO, SD"
  />
- <xs:enumeration value="ninguno, indicación, abanderamiento, error" />
- <xs:enumeration value="ninguno, indicación, error" />
- <xs:enumeration value="vacío, avisos" />
  </xs:restriction>
</xs:simpleType>
</xs:attribute>
- <xs:attribute name="inicial" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="ninguno" />
- <xs:enumeration value="vacío" />
  </xs:restriction>
</xs:simpleType>
</xs:attribute>
- <xs:attribute name="defecto" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="ninguno" />
- <xs:enumeration value="último válido" />

```



```

    </xs:restriction>
    </xs:simpleType>
    </xs:attribute>
- <xs:attribute name="seguridad" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="más alto" />
- <xs:enumeration value="ninguno" />
- <xs:enumeration value="último válido" />
    </xs:restriction>
    </xs:simpleType>
    </xs:attribute>
    </xs:complexType>
    </xs:element>
- <xs:element name="estándar">
- <xs:complexType>
- <xs:attribute name="id" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="1" />
- <xs:enumeration value="2" />
- <xs:enumeration value="3" />
    </xs:restriction>
    </xs:simpleType>
    </xs:attribute>
- <xs:attribute name="descriptor" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="AP 2080" />
- <xs:enumeration value="CS25.1321c" />
- <xs:enumeration value="ISO 9241" />
    </xs:restriction>
    </xs:simpleType>
    </xs:attribute>
- <xs:attribute name="info">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="Required powerplant instruments must be closely
  grouped on the instrument panel. In addition: (1) The location of identical
  powerplant instruments for the engines must prevent confusion as to which
  engine each instrument relates; and (2) Powerplant instruments vital to the
  safe operation of the aeroplane must be plainly visible to the appropriate crew
  members." />
    </xs:restriction>
    </xs:simpleType>
    </xs:attribute>
    </xs:complexType>
    </xs:element>
- <xs:element name="estándares">
- <xs:complexType>
- <xs:sequence>
- <xs:element ref="estándar" maxOccurs="unbounded" />
    </xs:sequence>

```

```

    </xs:complexType>
  </xs:element>
- <xs:element name="eventos">
- <xs:complexType>
- <xs:attribute name="sistemas" type="xs:string" use="required" />
- <xs:attribute name="operación" type="xs:string" use="required" />
- <xs:attribute name="externos" type="xs:string" use="required" />
  </xs:complexType>
  </xs:element>
- <xs:element name="heurística">
- <xs:complexType>
- <xs:attribute name="id" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="1" />
- <xs:enumeration value="2" />
- <xs:enumeration value="3" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="descriptor" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="Dark interface" />
- <xs:enumeration value="Información mínima" />
- <xs:enumeration value="Need to know" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
  </xs:complexType>
  </xs:element>
- <xs:element name="heurísticas">
- <xs:complexType>
- <xs:sequence>
- <xs:element ref="heurística" maxOccurs="unbounded" />
  </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  </xs:element>
- <xs:element name="interfaz_notificación">
- <xs:complexType>
- <xs:sequence>
- <xs:element ref="estándares" />
- <xs:element ref="heurísticas" />
- <xs:element ref="Multiusuario" />
- <xs:element ref="patrón_IHC" />
- <xs:element ref="contextos" />
- <xs:element ref="escenarios" />
  </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  </xs:element>
- <xs:element name="mensaje">
- <xs:complexType>
- <xs:sequence>

```

```

<xs:element ref="atractor_de_atención" maxOccurs="unbounded" />
<xs:element ref="realimentación" />
<xs:element ref="seguridad" />
  </xs:sequence>
- <xs:attribute name="id" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="1" />
  <xs:enumeration value="2" />
  <xs:enumeration value="3" />
  <xs:enumeration value="4" />
  <xs:enumeration value="5" />
  <xs:enumeration value="6" />
  <xs:enumeration value="7" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="descriptor" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="DTO" />
  <xs:enumeration value="GA" />
  <xs:enumeration value="LNC" />
  <xs:enumeration value="MCL" />
  <xs:enumeration value="MCT" />
  <xs:enumeration value="NTO" />
  <xs:enumeration value="THROTTLE LEVERS NOT MATCHED" />
  <xs:enumeration value="UTO" />
  <xs:enumeration value="Valor de escala" />
  <xs:enumeration value="Valor numérico" />
  <xs:enumeration value="Valor numérico de N2" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="instalación" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="h1" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="fidelidad" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="1.0" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="criticidad" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="A" />
  </xs:restriction>

```

```

</xs:simpleType>
</xs:attribute>
</xs:complexType>
</xs:element>
- <xs:element name="notificación">
- <xs:complexType>
- <xs:sequence>
- <xs:element ref="semiótica" />
  </xs:sequence>
- <xs:attribute name="id" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="1" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
  <xs:attribute name="descriptor" type="xs:string" use="required" />
  <xs:attribute name="prioridad" type="xs:string" use="required" />
  </xs:complexType>
  </xs:element>
- <xs:element name="patrón_IHC">
- <xs:complexType>
- <xs:sequence>
- <xs:element ref="patrón_IHC" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded" />
- <xs:element ref="reglas_de_interacción" minOccurs="0" />
- <xs:element ref="accesibilidad" minOccurs="0" />
- <xs:element ref="estados" minOccurs="0" />
- <xs:element ref="eventos" minOccurs="0" />
- <xs:element ref="compatibilidad" minOccurs="0" />
- <xs:element ref="consistencia" minOccurs="0" />
- <xs:element ref="percepción_sensorial" minOccurs="0" />
- <xs:element ref="tareas" minOccurs="0" />
- <xs:element ref="notificación" minOccurs="0" />
  </xs:sequence>
- <xs:attribute name="id">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="1" />
- <xs:enumeration value="1.1" />
- <xs:enumeration value="1.2" />
- <xs:enumeration value="2" />
- <xs:enumeration value="2.1" />
- <xs:enumeration value="2.2" />
- <xs:enumeration value="2.3" />
- <xs:enumeration value="2.4" />
- <xs:enumeration value="2.5" />
- <xs:enumeration value="2.6" />
- <xs:enumeration value="2.7" />
- <xs:enumeration value="3" />
- <xs:enumeration value="4" />
- <xs:enumeration value="5" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>

```

```

    </xs:attribute>
- <xs:attribute name="descriptor">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="Actual indication" />
  <xs:enumeration value="Color sector" />
  <xs:enumeration value="Dial scale and Digital readout" />
  <xs:enumeration value="Etiqueta Tq/P" />
  <xs:enumeration value="Indicación de Torque/Potencia" />
  <xs:enumeration value="Indicación de limitación de modo" />
  <xs:enumeration value="Indicación de texto de limitación de modo" />
  <xs:enumeration value="Indicación de velocidad de la hélice" />
  <xs:enumeration value="Indicación numérica de limitación de modo" />
  <xs:enumeration value="Pantalla de avisos" />
  <xs:enumeration value="Reverse indication" />
  <xs:enumeration value="Sinóptico" />
  <xs:enumeration value="Throttle indication" />
  <xs:enumeration value="Trend indication" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="objetivos">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="avisos, alertas" />
  <xs:enumeration value="indicación" />
  <xs:enumeration value="indicación, avisos, alertas" />
  <xs:enumeration value="información" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="confirmación_de_acciones">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="no" />
  <xs:enumeration value="si" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="modos">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="no" />
  <xs:enumeration value="si" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="redundancia">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="no" />
  <xs:enumeration value="si" />
  </xs:restriction>

```

```

    </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="realimentación">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="no" />
  <xs:enumeration value="si" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="automatizado">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="no" />
  <xs:enumeration value="si" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
</xs:complexType>
</xs:element>
- <xs:element name="percepción_sensorial">
- <xs:complexType>
- <xs:attribute name="foreground" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="azul" />
  <xs:enumeration value="azul,verde,blanco,rosa,naranja,rojo" />
  <xs:enumeration value="verde" />
  <xs:enumeration value="verde, azul, blanco, amarillo, rojo, naranja" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="background" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="negro" />
  <xs:enumeration value="negro, blanco" />
  <xs:enumeration value="negro,gris" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="notificación" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="ámbar" />
  <xs:enumeration value="ámbar, rojo" />
  <xs:enumeration value="ámbar,rojo" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="transparencias" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">

```

```

<xs:enumeration value="si" />
  </xs:restriction>
</xs:simpleType>
</xs:attribute>
</xs:complexType>
</xs:element>
- <xs:element name="perceptual">
- <xs:complexType>
- <xs:sequence>
  <xs:element ref="visual" />
  <xs:element ref="auditivo" />
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
- <xs:element name="realimentación">
- <xs:complexType>
- <xs:attribute name="canal" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="auditivo" />
  <xs:enumeration value="visua" />
  <xs:enumeration value="visual" />
    </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
</xs:attribute>
  <xs:attribute name="atributos" type="xs:string" use="required" />
- <xs:attribute name="medio" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="altavoz" />
  <xs:enumeration value="pantalla" />
    </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
</xs:attribute>
  <xs:attribute name="entrada" type="xs:string" use="required" />
  <xs:attribute name="salida" type="xs:string" use="required" />
  <xs:attribute name="controles" type="xs:string" use="required" />
</xs:complexType>
</xs:element>
- <xs:element name="regla">
- <xs:complexType>
- <xs:attribute name="id" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="1" />
  <xs:enumeration value="2" />
  <xs:enumeration value="3" />
    </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
</xs:attribute>
  <xs:attribute name="patrón" type="xs:string" use="required" />
  <xs:attribute name="visible" type="xs:string" use="required" />
  <xs:attribute name="independiente" type="xs:string" use="required" />

```

```

- <xs:attribute name="consistencia">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="si" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
</xs:complexType>
</xs:element>
- <xs:element name="reglas_de_interacción">
- <xs:complexType>
- <xs:sequence>
- <xs:element ref="regla" maxOccurs="unbounded" />
  </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  </xs:element>
- <xs:element name="respuesta">
- <xs:complexType>
- <xs:attribute name="RS" type="xs:string" use="required" />
- <xs:attribute name="RV" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:decimal">
- <xs:enumeration value="-0.1" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
  </xs:complexType>
  </xs:element>
- <xs:element name="seguridad">
- <xs:complexType>
- <xs:attribute name="EAL" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="1" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
  </xs:complexType>
  </xs:element>
- <xs:element name="semiótica">
- <xs:complexType>
- <xs:sequence>
- <xs:element ref="diálogo" />
  </xs:sequence>
  <xs:attribute name="información_asociada" type="xs:string" use="required" />
- <xs:attribute name="abreviaturas" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="no" />
- <xs:enumeration value="si" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>

```



```

- <xs:attribute name="caracteres_especiales" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="no" />
  <xs:enumeration value="si" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
  <xs:attribute name="dominio" type="xs:string" use="required" />
  <xs:attribute name="unidades" type="xs:string" use="required" />
- <xs:attribute name="minúsculas" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="si" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="recortes" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="no" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
  </xs:complexType>
  </xs:element>
- <xs:element name="tarea">
- <xs:complexType>
- <xs:sequence>
  <xs:element ref="coeficientes_de_interferencia" />
  </xs:sequence>
- <xs:attribute name="id" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="1" />
  <xs:enumeration value="2" />
  <xs:enumeration value="3" />
  <xs:enumeration value="4" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="descriptor" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="atractor de atención" />
  <xs:enumeration value="monitorización" />
  <xs:enumeration value="mostrar información" />
  <xs:enumeration value="reconocimiento" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="prioridad" use="required">
- <xs:simpleType>

```

```

- <xs:restriction base="xs:byte">
  <xs:enumeration value="1" />
  <xs:enumeration value="2" />
  <xs:enumeration value="3" />
  <xs:enumeration value="4" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
  <xs:attribute name="tiempo" type="xs:string" />
  </xs:complexType>
  </xs:element>
- <xs:element name="tareas">
- <xs:complexType>
- <xs:sequence>
- <xs:element ref="tarea" maxOccurs="unbounded" />
  </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  </xs:element>
- <xs:element name="usuario">
- <xs:complexType>
- <xs:attribute name="id" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="1" />
  <xs:enumeration value="2" />
  <xs:enumeration value="3" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="descriptor" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="3er tripulante" />
  <xs:enumeration value="copiloto" />
  <xs:enumeration value="piloto" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="acceso" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="all" />
  <xs:enumeration value="notificación" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>
  </xs:attribute>
- <xs:attribute name="rol" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
  <xs:enumeration value="principal" />
  <xs:enumeration value="secundario" />
  </xs:restriction>
  </xs:simpleType>

```

```

- </xs:attribute>
- <xs:attribute name="habilidades_cognitivas" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="0.5" />
- <xs:enumeration value="1" />
- </xs:restriction>
- </xs:simpleType>
- </xs:attribute>
- <xs:attribute name="MC" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:string">
- <xs:enumeration value="1" />
- <xs:enumeration value="1,5" />
- </xs:restriction>
- </xs:simpleType>
- </xs:attribute>
- <xs:attribute name="experiencia" type="xs:string" use="required" />
- </xs:complexType>
- </xs:element>
- <xs:element name="visual">
- <xs:complexType>
- <xs:attribute name="VSF" use="required">
- <xs:simpleType>
- <xs:restriction base="xs:decimal">
- <xs:enumeration value="-0.1" />
- </xs:restriction>
- </xs:simpleType>
- </xs:attribute>
- <xs:attribute name="VVF" type="xs:string" use="required" />
- <xs:attribute name="VSA" type="xs:string" use="required" />
- <xs:attribute name="VVA" type="xs:string" use="required" />
- </xs:complexType>
- </xs:element>
- </xs:schema>

```

IV. Caracterización DTD de un componente de interfaz para un sistema de notificación en aviónica.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!--DTD generated by XMLSpy v2006.sp1 U (http://www.altova.com)-->
<!ELEMENT Multiusuario (usuario+)>
<!ELEMENT accesibilidad EMPTY>
<!ATTLIST accesibilidad
    visual CDATA #REQUIRED
    auditiva CDATA #REQUIRED
    táctil CDATA #REQUIRED
>
<!ELEMENT atractor_de_atención EMPTY>
<!ATTLIST atractor_de_atención
    canal CDATA #REQUIRED
    atributos CDATA #REQUIRED

```

```

    medio CDATA #REQUIRED
    entrada CDATA #REQUIRED
    salida CDATA #REQUIRED
  >
<!ELEMENT auditivo EMPTY>
<!ATTLIST auditivo
  AS CDATA #REQUIRED
  AV CDATA #REQUIRED
>
<!ELEMENT coeficientes_de_interferencia (perceptual, cognitivo, respuesta)>
<!ELEMENT cognitivo EMPTY>
<!ATTLIST cognitivo
  CS CDATA #REQUIRED
  CV CDATA #REQUIRED
>
<!ELEMENT compatibilidad EMPTY>
<!ELEMENT consistencia EMPTY>
<!ATTLIST consistencia
  limpieza_de_notificación CDATA #REQUIRED
  pierde_notificaciones CDATA #REQUIRED
>
<!ELEMENT contexto EMPTY>
<!ATTLIST contexto
  id CDATA #REQUIRED
  descriptor CDATA #REQUIRED
>
<!ELEMENT contextos (contexto+)>
<!ELEMENT diálogo (mensaje+)>
<!ATTLIST diálogo
  superpuestos CDATA #REQUIRED
  tiempo_mínimo CDATA #REQUIRED
>
<!ELEMENT escenario EMPTY>
<!ATTLIST escenario
  id CDATA #REQUIRED
  descriptor CDATA #REQUIRED
  duración CDATA #REQUIRED
>
<!ELEMENT escenarios (escenario+)>
<!ELEMENT estados EMPTY>
<!ATTLIST estados
  normal CDATA #REQUIRED
  inicial CDATA #REQUIRED
  defecto CDATA #REQUIRED
  seguridad CDATA #REQUIRED
>
<!ELEMENT estándar EMPTY>
<!ATTLIST estándar
  id CDATA #REQUIRED
  descriptor CDATA #REQUIRED
  info CDATA #IMPLIED
>
<!ELEMENT estándares (estándar+)>
<!ELEMENT eventos EMPTY>
<!ATTLIST eventos

```

```

    sistemas CDATA #REQUIRED
    operación CDATA #REQUIRED
    externos CDATA #REQUIRED
>
<!ELEMENT heurística EMPTY>
<!ATTLIST heurística
    id CDATA #REQUIRED
    descriptor CDATA #REQUIRED
>
<!ELEMENT heurísticas (heurística+)>
<!ELEMENT interfaz_notificación (estándares, heurísticas, Multiusuario, patrón_IHC, contextos,
escenarios)>
<!ATTLIST interfaz_notificación
    xmlns:xsi CDATA #IMPLIED
    xsi:noNamespaceSchemaLocation CDATA #IMPLIED
>
<!ELEMENT mensaje (atractor_de_atención+, realimentación, seguridad)>
<!ATTLIST mensaje
    id CDATA #REQUIRED
    descriptor CDATA #REQUIRED
    instalación CDATA #REQUIRED
    fidelidad CDATA #REQUIRED
    criticidad CDATA #REQUIRED
>
<!ELEMENT notificación (semiótica)>
<!ATTLIST notificación
    id CDATA #REQUIRED
    descriptor CDATA #REQUIRED
    prioridad CDATA #REQUIRED
>
<!ELEMENT patrón_IHC (patrón_IHC*, reglas_de_interacción?, accesibilidad?, estados?,
eventos?, compatibilidad?, consistencia?, percepción_sensorial?, tareas?, notificación?)>
<!ATTLIST patrón_IHC
    id CDATA #IMPLIED
    descriptor CDATA #IMPLIED
    objetivos CDATA #IMPLIED
    confirmación_de_acciones CDATA #IMPLIED
    modos CDATA #IMPLIED
    redundancia CDATA #IMPLIED
    realimentación CDATA #IMPLIED
    automatizado CDATA #IMPLIED
>
<!ELEMENT percepción_sensorial EMPTY>
<!ATTLIST percepción_sensorial
    foreground CDATA #REQUIRED
    background CDATA #REQUIRED
    notificación CDATA #REQUIRED
    transparencias CDATA #REQUIRED
>
<!ELEMENT perceptual (visual, auditivo)>
<!ELEMENT realimentación EMPTY>
<!ATTLIST realimentación
    canal CDATA #REQUIRED
    atributos CDATA #REQUIRED
    medio CDATA #REQUIRED

```

```

    entrada CDATA #REQUIRED
    salida CDATA #REQUIRED
    controles CDATA #REQUIRED
  >
<!/ELEMENT regla EMPTY>
<!/ATTLIST regla
  id CDATA #REQUIRED
  patrón CDATA #REQUIRED
  visible CDATA #REQUIRED
  independiente CDATA #REQUIRED
  consistencia CDATA #IMPLIED
>
<!/ELEMENT reglas_de_interacción (regla+)>
<!/ELEMENT respuesta EMPTY>
<!/ATTLIST respuesta
  RS CDATA #REQUIRED
  RV CDATA #REQUIRED
>
<!/ELEMENT seguridad EMPTY>
<!/ATTLIST seguridad
  EAL CDATA #REQUIRED
>
<!/ELEMENT semiótica (diálogo)>
<!/ATTLIST semiótica
  información_asociada CDATA #REQUIRED
  abreviaturas CDATA #REQUIRED
  caracteres_especiales CDATA #REQUIRED
  dominio CDATA #REQUIRED
  unidades CDATA #REQUIRED
  minúsculas CDATA #REQUIRED
  recortes CDATA #REQUIRED
>
<!/ELEMENT tarea (coeficientes_de_interferencia)>
<!/ATTLIST tarea
  id CDATA #REQUIRED
  descriptor CDATA #REQUIRED
  prioridad CDATA #REQUIRED
  tiempo CDATA #IMPLIED
>
<!/ELEMENT tareas (tarea+)>
<!/ELEMENT usuario EMPTY>
<!/ATTLIST usuario
  id CDATA #REQUIRED
  descriptor CDATA #REQUIRED
  acceso CDATA #REQUIRED
  rol CDATA #REQUIRED
  habilidades_cognitivas CDATA #REQUIRED
  MC CDATA #REQUIRED
  experiencia CDATA #REQUIRED
>
<!/ELEMENT visual EMPTY>
<!/ATTLIST visual
  VSF CDATA #REQUIRED
  VVF CDATA #REQUIRED
  VSA CDATA #REQUIRED

```

> *VVA CDATA #REQUIRED*

V. Propuesta de experimentos

Se proponen los siguientes experimentos para confirmar las relaciones matemáticas que incluyen los parámetros críticos empleados en el modelo predictivo y los recursos cognitivos de los usuarios.

1. Parámetro 1: Complejidad y Sobrecarga en la información.

- Definir un criterio para decidir cuándo un mensaje es innecesario. Criterio: Primer paso: eliminar el mensaje. Si el usuario puede realizar todas las tareas primarias tanto en condiciones normales como en condiciones anormales, entonces el mensaje es innecesario. Si el usuario no puede realizar satisfactoriamente las tareas primarias entonces es necesario un mensaje.
- Determinar cuál es la longitud máxima para un mensaje crítico: Para ello se mide la capacidad de reconocer, entender y reaccionar ante un número M de mensajes de P palabras de extensión en un tiempo menor que T .
- Enviar información banal seguida de información valiosa para el usuario. ¿Al cabo de cuánto tiempo/mensajes deja el usuario de prestar atención? ¿Cuántos mensajes valiosos pierde el usuario?

2. Parámetro 2: Multitarea.

No se considera necesaria una experimentación adicional.

3. Parámetro 3: Comportamientos modales, múltiples opciones y hábitos.

No se considera necesaria una experimentación adicional.

4. Parámetro 4: Contexto y Situaciones anormales.

No se considera necesaria una experimentación adicional.

5. Parámetro 5: Degradación y Pérdida de rendimiento.

La pérdida de velocidad al realizar manualmente las tareas de control de los cuatro motores de un avión de transporte tras perder la capacidad de automatización ofrecida por el sistema. La premisa a comprobar es que la tripulación (piloto y copiloto) realiza las tareas normales de control de los motores entre un 20%-25% más lento durante el primer minuto tras recuperar la capacidad manual de control.

Los pasos básicos del procedimiento de experimentación y análisis de datos se realizarán en seis etapas (Newman, 1995):

1. Identificar los factores de usabilidad a medirse, estableciendo claramente los requisitos que el diseño debería garantizar.
Para el caso que nos ocupa:
 - o Comprobar que la deficiencia de prestaciones durante el primer minuto sólo se ve reducida un 15%.
 - o Como objetivo secundario, comprobar que disminuye la tasa de errores, puesto que siempre debe tenerse en mente que nuestro diseño debe ser satisfactorio en situaciones de emergencia.

2. Una vez preparado el prototipo con el que se llevará a cabo la evaluación. En nuestro caso, la interfaz de usuario real se ha prototipado en un entorno comercial Java de sobremesa siguiendo el estándar ARINC 661-2 [[ARINC 661-2 2003] para nuevas cabinas de aviones. El prototipo empleado tendrá las pantallas en tamaño real y los controles correspondientes a la palanca de gases (*throttle lever*) y los botones (*push-buttons* y rotatorios) se simularán en una pantalla y manejados con un ratón.

3. Diseñar el experimento:

3.1. Identificar a los usuarios que realizarán el test del sistema.

En nuestro caso se han elegido como usuarios a los diseñadores directos [Wright and Monk 1991] de las diversas partes de los motores controladas directamente por nuestro sistema (turbinas, hélices, góndola y computadores de control y monitorización). Estos usuarios poseen un conocimiento profundo de sus partes en particular y una visión general del todo el sistema en general, para evitar que el grado del aprendizaje del sistema pueda considerarse como variable dependiente de la experimentación.

Según Jacob Nielsen [[Nielsen 1993, páginas 24-25], para conseguir un 95% de confianza con un intervalo de error de $\pm 18\%$ son necesarios 10 usuarios expertos para una desviación estándar del 33%.

Para obtener resultados para obtener resultados fiables y concluyentes son necesarios, al menos, 5 usuarios. En tanto que 8 ó más participantes sería una situación ideal. (Nielsen)

En nuestro caso, disponemos de 10 usuarios expertos.

Todos ellos corresponden a un perfil de usuarios expertos en el diseño de los sistemas de control de motores, pero no en la interfaz *per se* () por lo que previamente fueron adiestrados brevemente en el prototipo [Nielsen 1993].

3.2. Definir las actividades que los usuarios (piloto y copiloto) deberían realizar.

Prestando especial atención a las condiciones de fallo de un motor durante el primer minuto de deficiencias de prestaciones.

Las actividades a realizar serían:

- aumentar manualmente la demanda de potencia a los motores,
- disminuir manualmente la demanda de potencia a los motores,
- reconocer un fallo por fuego en un motor,
- conectar un extintor que permita apagar el fuego en un motor,
- ensayos que requieran la participación de dos usuarios (piloto y copiloto).

Los primeros tests en realizarse serán los correspondientes a variar manualmente la demanda de potencia de los motores, dejando para el final los ensayos correspondientes a las situaciones anormales (fuego en un motor).

En cada sesión de test al usuario se le pide que realice manualmente las siguientes operaciones sobre un prototipo conforme a la Figura 9

1. Activar un reloj del sistema que servirá para medir el tiempo empleado en realizar todas las operaciones.
2. Arrancar los motores según la operación descrita en el apartado anterior.
3. Aumentar la potencia de los cuatro motores un 30% a través de las palancas de gases de los cuatro motores (movimiento con el cursor hasta que la interfaz indique 30%)
4. Disminuir la potencia de los motores internos un 20% (movimiento con el cursor hasta que la interfaz indique 10%)

5. Aumentar la potencia del motores externos un 10% a través de las palancas de gases de los motores internos (movimiento con el cursor hasta que la interfaz indique 20%)
6. Disminuir la potencia de los cuatro motores un 20% a través de las palancas de gases de los cuatro motores (movimiento con el cursor hasta que la interfaz indique 0%)
7. Aumentar la potencia de los cuatro motores un 10% a través de las palancas de gases de los cuatro motores (movimiento con el cursor hasta que la interfaz indique 10%)
8. Reconocer un fallo (sólo uno) en un motor (condición de fuego en un motor) que ha podido producirse aleatoriamente durante las operaciones anteriores. El reconocimiento consiste en pulsar con el cursor el botón correspondiente a ese motor.
9. Desconectar el motor (y sólo este motor) que ha sufrido el fallo, pulsando el botón de arranque/encendido con el cursor.
10. Activar el extintor correspondiente a este motor (y sólo a este motor), pulsando con el curso el botón correspondiente a ese extintor.

10.1. Parar el reloj

Se mide el tiempo para cada usuario en realizar correctamente todas las operaciones y el número de errores cometidos en realizar satisfactoriamente todas las operaciones.

A continuación, el sistema funciona durante 5 minutos en modo automático tras seleccionar un número prefijado de revoluciones del motor a través de un botón. El tiempo, durante el cual el sistema funciona sin la intervención del usuario (5 minutos) es el mismo para todos los usuarios y no es conocido a priori por éstos.

Transcurrido este tiempo aparece un aviso en la pantalla de motor que indica que el control automático ha dejado de funcionar y que se requiere la intervención del usuario. Para ello se debe pulsar con el cursor en el control de la palanca maestra que aparece en rojo correspondiente al motor con fallo.

A partir de este momento, cada usuario debe volver a realizar las acciones descritas anteriormente y vuelve a medirse mide el tiempo que cada usuario ha necesitado para realizar correctamente todas las operaciones y se cuenta el número de errores cometidos.

10.2. Planificar cuándo y dónde deberían realizarse los tests.

Una cabina de avión simulada requiere un entorno de laboratorio que no permita interrupciones (sin teléfono, ni ventanas ni timbres) en el proceso mental de los usuarios [Preece et al. 2002] y sin que un usuario presencie el uso por parte del resto de usuarios.

Se han previsto periodos de tiempo intermedio que permitan modificar y mejorar el prototipo tras obtener los primeros resultados procedentes de la evaluación (Referencia al ciclo de vida empleado: **eXtreme Programming**).

11. Ejecutar los tests y grabar los datos correspondientes a las pruebas.

Cada usuario es adiestrado brevemente en la interfaz concreta antes de realizar los tests puesto que todos los usuarios son expertos en el sistema. El único aprendizaje necesario es la correspondencia de los elementos de control 2D de nuestra interfaz simulada con los elementos reales. Este adiestramiento se ha considerado necesario puesto que los usuarios son expertos en el uso de los elementos reales del avión.³⁶

³⁶ Resulta paradójica la necesidad de entrenar a los usuarios (expertos en la interfaz real) en un prototipo que permita mejorar la interfaz real. Se pone de manifiesto la necesidad de construir prototipos “fieles” a la interfaz final y la enorme importancia de reusar los elementos existentes de una interfaz debido a las enormes implicaciones de costo en el entrenamiento de usuarios muy expertos con el sistema actual (y por tanto, muy reacios a cualquier innovación)

Los datos correspondientes a las condiciones de entrada, el proceso de control y los resultados esperados también son proporcionados por estos usuarios expertos en el control del sistema, pero no en la interfaz con el sistema de forma que se pretende que los usuarios vayan realizando un proceso de aprendizaje de la interfaz (*cognitive walkthrough*).

12. Analizar los datos para establecer cómo las condiciones de las pruebas han afectado a la realización de las actividades para las que se ha diseñado nuestro sistema. Con los datos obtenidos se realizará un tratamiento estadístico basado en la “función t de Studen” a través del paquete estadístico MINITAB.
13. Obtener conclusiones que permitan concluir si nuestra premisa (la deficiencia de prestaciones durante el primer minuto) es correcta y si nuestro diseño basado en la manipulación directa y en los diseños previos de otros aviones cumple con el requisito de que esta disminución de prestaciones sea inferior al 15%. Además la experimentación debería indicar qué aspectos (a priori, la colaboración entre piloto y copiloto) permiten mejorar el diseño.

6. Parámetro 6: Interfaz compartida por más de un usuario.

- ¿Es mejor que un mensaje de notificación desaparezca cuando lo reconoce un único usuario, o todos y cada uno de ellos?
- ¿Existe pérdida de atención al aumentar el número de usuarios?

VI. Resultado de la aplicación del marco de evaluación a la interfaz del A400M.

- Componentes

Componentes de la interfaz :

0. SINÓPTICO
1. INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO
2. VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO
3. ETIQUETA_TQ
4. LECTURA_DIGITAL
5. AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ
- ...Componentes hijos :
5. 0.DIAL_5_POSICIONES
5. 1.SECTOR_GRIS
5. 2.SECTOR_BLANCO
5. 3.TENDENCIA_TQ
5. 4.ACENTUAR_TQ
5. 5.POSICIÓN_PALANCA
6. SECTOR_GRIS
7. SECTOR_BLANCO
8. TENDENCIA_TQ
9. ACENTUAR_TQ
10. DIAL_5_POSICIONES
11. POSICIÓN_PALANCA
12. VALOR_PORCENTUAL_TQ
13. INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
14. INDICACIÓN_REVERSA
15. INDICACIÓN_PILOTO_AUTOMÁTICO
16. ETIQUETA_NP
17. VALOR_NUMÉRICO_NP
18. INDICACIÓN_ABANDERAMIENTO
19. ETIQUETA_EGT
20. VALOR_PORCENTUAL_EGT
21. DIAL_3_POSICIONES_EGT
22. VALOR_NUMÉRICO_EGT
23. AGUJA_EGT
- ...Componentes hijos :
23. 0.DIAL_3_POSICIONES_EGT
24. CAJA_DE_TEXTO
25. MENSAJE_FWS
26. CAJA_ATRACCIÓN
27. MASTER_LIGHT
28. CAUTION_LIGHT
29. PANTALLA_DE_AVISOS
30. SINGLE_CHIME
31. REPETITIVE_CHIME
32. MENSAJE_VOZ

- Semiótica

Componente INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO incluye abreviaturas

Componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO no incluye abreviaturas

Componente ETIQUETA_TQ incluye abreviaturas

Notificación :PWR 'pwr' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'pwr' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866

Componente LECTURA_DIGITAL no incluye abreviaturas

Componente AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ no incluye abreviaturas

Componente DIAL_5_POSICIONES no incluye abreviaturas

Componente SECTOR_GRIS incluye abreviaturas

Componente SECTOR_BLANCO no incluye abreviaturas

Componente TENDENCIA_TQ incluye abreviaturas
Componente ACENTUAR_TQ no incluye abreviaturas
Componente POSICIÓN_PALANCA no incluye abreviaturas
Componente SECTOR_GRIS incluye abreviaturas
Componente SECTOR_BLANCO no incluye abreviaturas
Componente TENDENCIA_TQ incluye abreviaturas
Componente ACENTUAR_TQ no incluye abreviaturas
Componente DIAL_5_POSICIONES no incluye abreviaturas
Componente POSICIÓN_PALANCA no incluye abreviaturas
Componente VALOR_PORCENTUAL_TQ incluye abreviaturas
Componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA incluye abreviaturas
Componente INDICACIÓN_REVERSA incluye abreviaturas
Componente INDICACIÓN_PILOTO_AUTOMÁTICO incluye abreviaturas
Componente ETIQUETA_NP incluye abreviaturas
Componente VALOR_NUMÉRICO_NP incluye abreviaturas
Componente INDICACIÓN_ABANDERAMIENTO incluye abreviaturas
Componente ETIQUETA_EGT incluye abreviaturas
Componente VALOR_PORCENTUAL_EGT incluye abreviaturas
Componente DIAL_3_POSICIONES_EGT incluye abreviaturas
Componente VALOR_NUMÉRICO_EGT incluye abreviaturas
Componente AGUJA_EGT incluye abreviaturas
Componente DIAL_3_POSICIONES_EGT incluye abreviaturas
Componente CAJA_DE_TEXTO incluye abreviaturas
Componente MENSAJE_FWS incluye abreviaturas
Componente CAJA_ATRACCIÓN incluye abreviaturas

Componente PANTALLA_DE AVISOS incluye abreviaturas
Notificación :THROTTLE LEVERS NOT MATCHED 'throttle' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'levers' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'not' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'matched' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'throttle' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
'levers' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
'not' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
'matched' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
Notificación :STEEP DESCENT SELECTED 'steep' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'descent' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'selected' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'steep' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
'descent' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
'selected' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
Notificación :MILITARY OPERATION SELECTED 'military' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'operation' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'selected' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'military' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
'operation' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
'selected' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
Notificación :LOW ENG OIL PRESSURE 'low' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'eng' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'oil' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'pressure' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'low' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
'eng' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
'oil' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
'pressure' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
Notificación :LOW PGB OIL PRESSURE 'low' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866

'pgb' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'oil' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'pressure' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'low' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'pgb' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'oil' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'pressure' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 Notificación :HIGH ENG OIL TEMPERATURE 'high' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'eng' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'oil' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'temperature' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'high' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'eng' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'oil' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'temperature' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 Notificación :HIGH PGB OIL TEMPERATURE 'high' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'pgb' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'oil' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'temperature' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'high' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'pgb' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'oil' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'temperature' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 Notificación :LOW PGB OIL TEMPERATURE 'low' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'pgb' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'oil' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'temperature' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'low' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'pgb' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'oil' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'temperature' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 Notificación :ERRONEOUS RATING SELECTION 'erroneous' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'rating' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'selection' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'erroneous' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'rating' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'selection' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 Notificación :UP-RATED TAKE OFF CANCELLED 'up-rated' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'take' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'off' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'cancelled' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'up-rated' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'take' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'off' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'cancelled' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 Notificación :GI/REV 'gi/rev' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'gi/rev' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 Notificación :PROP SPEED TO 730rpm 'prop' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'speed' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'to' es un artículo o preposición
 '730rpm' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'prop' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'speed' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 '730rpm' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 Notificación :TOGAD ACTIVE 'togad' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'AC' Abreviatura usada correctamente
 'togad' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'active' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 Notificación :ATOC/AGA ACTIVE 'atoc/aga' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'AC' Abreviatura usada correctamente
 'atoc/aga' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'active' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 Notificación :ADAPTED IDLE ACTIVE 'AP' Abreviatura usada correctamente
 'idle' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'AC' Abreviatura usada correctamente
 'adapted' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'idle' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'active' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 Notificación :SPEED FLOOR ACTIVE 'speed' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'floor' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'AC' Abreviatura usada correctamente
 'speed' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'floor' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 'active' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
 Notificación :REVERSE INTERLOCK ACTIVE 'reverse' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'interlock' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
 'AC' Abreviatura usada correctamente
 'reverse' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866

'interlock' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
'active' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
Notificación :PILOTING ASSISTANCE ACTIVE 'piloting' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'assistance' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'AC' Abreviatura usada correctamente
'piloting' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
'assistance' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
'active' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
Notificación :Mensaje_19 'mensaje_19' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'mensaje_19' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866
Notificación :Mensaje_20 'mensaje_20' Abreviatura incorrecta. No se encuentra en la lista de abreviaturas AP2866
'mensaje_20' Palabra incorrecta. No se encuentra en AP2866

- Repetición

Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente SINÓPTICO
Número de mensajes de voz. Evaluación correcta
Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta
Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente MASTER_LIGHT
Número de mensajes de voz. Evaluación correcta
Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta
Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente CAUTION_LIGHT
Número de mensajes de voz. Evaluación correcta
Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta
Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente SINGLE_CHIME
Número de mensajes de voz. Evaluación correcta
Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta
Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente REPETITIVE_CHIME
Número de mensajes de voz. Evaluación correcta
Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta
Evaluando número de notificaciones auditivas en el componente MENSAJE_VOZ
Número de mensajes de voz. Evaluación correcta
Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta
Evaluando repetición de mensajes en el componente SINÓPTICO
Evaluando repetición de mensajes en el componente INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO
Evaluando repetición de mensajes en el componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO
Evaluando repetición de mensajes en el componente ETIQUETA_TQ
Evaluando repetición de mensajes en el componente LECTURA_DIGITAL
Evaluando repetición de mensajes en el componente AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ
Evaluando repetición de mensajes en el componente DIAL_5_POSICIONES
Evaluando repetición de mensajes en el componente SECTOR_GRIS
Evaluando repetición de mensajes en el componente SECTOR_BLANCO
Evaluando repetición de mensajes en el componente TENDENCIA_TQ
Evaluando repetición de mensajes en el componente ACENTUAR_TQ
Evaluando repetición de mensajes en el componente POSICIÓN_PALANCA
Evaluando repetición de mensajes en el componente SECTOR_GRIS
Evaluando repetición de mensajes en el componente SECTOR_BLANCO
Evaluando repetición de mensajes en el componente TENDENCIA_TQ
Evaluando repetición de mensajes en el componente ACENTUAR_TQ
Evaluando repetición de mensajes en el componente DIAL_5_POSICIONES
Evaluando repetición de mensajes en el componente POSICIÓN_PALANCA
Evaluando repetición de mensajes en el componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
Evaluando repetición de mensajes en el componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
Evaluando repetición de mensajes en el componente INDICACIÓN_REVERSA
Evaluando repetición de mensajes en el componente INDICACIÓN_PILOTO_AUTOMÁTICO
Evaluando repetición de mensajes en el componente ETIQUETA_NP
Evaluando repetición de mensajes en el componente VALOR_NUMÉRICO_NP
Evaluando repetición de mensajes en el componente INDICACIÓN_ABANDERAMIENTO
Evaluando repetición de mensajes en el componente ETIQUETA_EGT
Evaluando repetición de mensajes en el componente VALOR_PORCENTUAL_EGT
Evaluando repetición de mensajes en el componente DIAL_3_POSICIONES_EGT
Evaluando repetición de mensajes en el componente VALOR_NUMÉRICO_EGT
Evaluando repetición de mensajes en el componente AGUJA_EGT
Evaluando repetición de mensajes en el componente DIAL_3_POSICIONES_EGT
Evaluando repetición de mensajes en el componente CAJA_DE_TEXTO
Evaluando repetición de mensajes en el componente MENSAJE_FWS
Evaluando repetición de mensajes en el componente CAJA_ATRACCIÓN
Evaluando repetición de mensajes en el componente MASTER_LIGHT
Evaluando repetición de mensajes en el componente CAUTION_LIGHT
Evaluando repetición de mensajes en el componente PANTALLA_DE_AVISOS
Evaluando repetición de mensajes en el componente SINGLE_CHIME
Evaluando repetición de mensajes en el componente REPETITIVE_CHIME
Evaluando repetición de mensajes en el componente MENSAJE_VOZ
El mensaje MENSAJE_1 se repite 1vez
El mensaje MENSAJE_2 se repite 1vez
El mensaje MENSAJE_3 se repite 1vez
El mensaje MENSAJE_4 se repite 1vez
El mensaje MENSAJE_5 se repite 1vez

El mensaje MENSAJE_6 se repite 1 vez
 El mensaje MENSAJE_7 se repite 1 vez
 El mensaje MENSAJE_8 se repite 1 vez
 El mensaje MENSAJE_9 se repite 1 vez
 El mensaje MENSAJE_10 se repite 1 vez
 El mensaje MENSAJE_11 se repite 1 vez
 El mensaje MENSAJE_12 se repite 1 vez
 El mensaje MENSAJE_13 se repite 1 vez
 El mensaje MENSAJE_14 se repite 1 vez
 El mensaje MENSAJE_15 se repite 1 vez
 El mensaje MENSAJE_16 se repite 1 vez
 El mensaje MENSAJE_17 se repite 1 vez
 El mensaje MENSAJE_18 se repite 1 vez
 El mensaje MENSAJE_19 se repite 1 vez
 El mensaje MENSAJE_20 se repite 1 vez
 El mensaje POWER_RATING_LEGEND se repite 1 vez
 El mensaje POWER_RATING_MAXIMUM_VALUE se repite 1 vez
 El mensaje POWER_RATING_VALUE se repite 1 vez
 El mensaje TORQUE_VALUE se repite 1 vez
 El mensaje ON_GROUND se repite 1 vez
 El mensaje REVERSA se repite 1 vez
 El mensaje BANDERA se repite 1 vez
 El mensaje EGT_VALUE se repite 1 vez
 El mensaje AUTO_EMPUJE se repite 1 vez
 El mensaje VALOR_NUMERICO_N2 se repite 1 vez
 El mensaje VALOR_NUMERICO_N3 se repite 1 vez
 El mensaje THROTTLE_LEVER_NOT_MATCHED se repite 1 vez
 El mensaje EMERGENCIA se repite 1 vez
 El mensaje CAUTION se repite 1 vez
 El mensaje NONE se repite 1 vez

- Redundancia

Componente sin descriptor

Diálogo :

con carga de información adecuada

Redundancia del dialogo : 0.00 %

Componente con carga de información adecuada

Redundancia del componente : 0.00 %

Mensaje : POWER_RATING_LEGEND con una carga de información adecuada

Diálogo :

con carga de información adecuada

Redundancia del dialogo : 100.00 %

Componente con demasiada carga de información : 4.00 . Debe rebajarse en 1.00 bits

Redundancia del componente : 100.00 %

Mensaje : POWER_RATING_VALUE con una carga de información adecuada

Diálogo :

con carga de información adecuada

Redundancia del dialogo : 100.00 %

Componente con demasiada carga de información : 3.30 . Debe rebajarse en 0.30 bits

Redundancia del componente : 100.00 %

Componente sin descriptor

Diálogo :

con carga de información adecuada

Redundancia del dialogo : 0.00 %

Componente con carga de información adecuada

Redundancia del componente : 0.00 %

Mensaje : POWER_RATING_VALUE con una carga de información adecuada

Diálogo :

con carga de información adecuada

Redundancia del dialogo : 100.00 %

Componente con demasiada carga de información : 3.30 . Debe rebajarse en 0.30 bits

Redundancia del componente : 100.00 %

Mensaje : TORQUE_VALUE con una carga de información adecuada

Diálogo :

con carga de información adecuada

Redundancia del dialogo : 100.00 %

Componente con carga de información adecuada

Redundancia del componente : 100.00 %

Componente sin descriptor

Diálogo :

con carga de información adecuada

Redundancia del dialogo : 0.00 %

Componente con carga de información adecuada

Redundancia del componente : 0.00 %

Mensaje : TORQUE_VALUE con una carga de información adecuada

Diálogo :

con carga de información adecuada

Redundancia del dialogo : 100.00 %

Componente con carga de información adecuada

Redundancia del componente : 100.00 %

Mensaje : TORQUE_VALUE con una carga de información adecuada

Diálogo :

con carga de información adecuada

Mensaje : VALOR_NUMERICO_N3 con una carga de información adecuada
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 100.00 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 100.00 %
Mensaje : BANDERA con una carga de información adecuada
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 100.00 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 100.00 %
Componente sin descriptor
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 0.00 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 0.00 %
Mensaje : EGT_VALUE con una carga de información adecuada
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 100.00 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 100.00 %
Componente sin descriptor
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 0.00 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 0.00 %
Mensaje : EGT_VALUE con una carga de información adecuada
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 100.00 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 100.00 %
Mensaje : EGT_VALUE con una carga de información adecuada
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 100.00 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 100.00 %
Componente sin descriptor
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 0.00 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 0.00 %
Componente sin descriptor
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 0.00 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 0.00 %
Mensaje : EMERGENCIA con una carga de información adecuada
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 100.00 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 100.00 %
Mensaje : CAUTION con una carga de información adecuada
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 100.00 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 100.00 %
Mensaje : EMERGENCIA con una carga de información adecuada
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 100.00 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 100.00 %
Mensaje : CAUTION con una carga de información adecuada
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 100.00 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 100.00 %
Mensaje : MENSAJE_1 con una carga de información adecuada
Mensaje : MENSAJE_2 con una carga de información adecuada
Mensaje : MENSAJE_3 con una carga de información adecuada
Mensaje : MENSAJE_4 con una carga de información adecuada
Mensaje : MENSAJE_5 con una carga de información adecuada
Mensaje : MENSAJE_6 con una carga de información adecuada
Mensaje : MENSAJE_7 con una carga de información adecuada
Mensaje : MENSAJE_8 con una carga de información adecuada
Mensaje : MENSAJE_9 con una carga de información adecuada
Mensaje : MENSAJE_10 con una carga de información adecuada

Mensaje : MENSAJE_11 con una carga de información adecuada
Mensaje : MENSAJE_12 con una carga de información adecuada
Mensaje : MENSAJE_13 con una carga de información adecuada
Mensaje : MENSAJE_14 con una carga de información adecuada
Mensaje : MENSAJE_15 con una carga de información adecuada
Mensaje : MENSAJE_16 con una carga de información adecuada
Mensaje : MENSAJE_17 con una carga de información adecuada
Mensaje : MENSAJE_18 con una carga de información adecuada
Mensaje : MENSAJE_19 con una carga de información adecuada
Mensaje : MENSAJE_20 con una carga de información adecuada
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 4.94 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 4.94 %
Mensaje : CAUTION con una carga de información adecuada
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 100.00 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 100.00 %
Mensaje : CAUTION con una carga de información adecuada
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 100.00 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 100.00 %
Mensaje : EMERGENCIA con una carga de información adecuada
Diálogo :
con carga de información adecuada
Redundancia del dialogo : 0.00 %
Componente con carga de información adecuada
Redundancia del componente : 100.00 %

- Existencia de modos

Componente SINÓPTICO
Evaluación de modos correcta

Componente INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO
Evaluación de modos correcta

Componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO
Evaluación de modos correcta

Componente ETIQUETA_TQ
Evaluación de modos correcta

Componente LECTURA_DIGITAL incluye modos que deben ser eliminados

Componente AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ incluye modos que deben ser eliminados

Componente DIAL_5_POSICIONES
Evaluación de modos correcta

Componente SECTOR_GRIS
Evaluación de modos correcta

Componente SECTOR_BLANCO incluye modos que deben ser eliminados

Componente TENDENCIA_TQ
Evaluación de modos correcta

Componente ACENTUAR_TQ incluye modos que deben ser eliminados

Componente POSICIÓN_PALANCA
Evaluación de modos correcta

Componente SECTOR_GRIS
Evaluación de modos correcta

Componente SECTOR_BLANCO incluye modos que deben ser eliminados

Componente TENDENCIA_TQ
Evaluación de modos correcta

Componente ACENTUAR_TQ incluye modos que deben ser eliminados

Componente DIAL_5_POSICIONES
Evaluación de modos correcta

Componente POSICIÓN_PALANCA
Evaluación de modos correcta

Componente VALOR_PORCENTUAL_TQ

```

Evaluación de modos correcta
Componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
Evaluación de modos correcta

Componente INDICACIÓN_REVERSA
Evaluación de modos correcta

Componente INDICACIÓN_PILOTO_AUTOMÁTICO
Evaluación de modos correcta

Componente ETIQUETA_NP
Evaluación de modos correcta

Componente VALOR_NUMÉRICO_NP
Evaluación de modos correcta

Componente INDICACIÓN_ABANDERAMIENTO
Evaluación de modos correcta

Componente ETIQUETA_EGT
Evaluación de modos correcta

Componente VALOR_PORCENTUAL_EGT
Evaluación de modos correcta

Componente DIAL_3_POSICIONES_EGT
Evaluación de modos correcta

Componente VALOR_NUMÉRICO_EGT
Evaluación de modos correcta

Componente AGUJA_EGT
Evaluación de modos correcta

Componente DIAL_3_POSICIONES_EGT
Evaluación de modos correcta

Componente CAJA_DE_TEXTO
Evaluación de modos correcta

Componente MENSAJE_FWS
Evaluación de modos correcta

Componente CAJA_ATRACCIÓN
Evaluación de modos correcta

Componente MASTER_LIGHT
Evaluación de modos correcta

Componente CAUTION_LIGHT
Evaluación de modos correcta

Componente PANTALLA_DE_AVISOS
Evaluación de modos correcta

Componente SINGLE_CHIME incluye modos que deben ser eliminados

Componente REPETITIVE_CHIME incluye modos que deben ser eliminados

Componente MENSAJE_VOZ incluye modos que deben ser eliminados

```

- Sobrecarga de componentes

```

~~~~~ EVALUANDO MULTITAREA Y SOBRECARGA EN LA INTERFAZ ~~~~~
~~~~~ Evaluado: SINÓPTICO...
~~~~~ Evaluado: INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO...
~~~~~ Evaluado: VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO...
~~~~~ Evaluado: ETIQUETA_TQ...
~~~~~ Evaluado: LECTURA_DIGITAL...
~~~~~ Evaluado: AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ...
.....~~~~~ Evaluando sus componentes ~~~~~

.....Evaluando el componente: DIAL_5_POSICIONES...

.....Evaluando el componente: SECTOR_GRIS...

.....Evaluando el componente: SECTOR_BLANCO...

.....Evaluando el componente: TENDENCIA_TQ...

.....Evaluando el componente: ACENTUAR_TQ...

.....Evaluando el componente: POSICIÓN_PALANCA...

```

```

..... Sobrecarga en el componente. Evaluando sus interferencias:
~~~~~ Evaluado: SECTOR_GRIIS...
~~~~~ Evaluado: SECTOR_BLANCO...
~~~~~ Evaluado: TENDENCIA TQ...
~~~~~ Evaluado: ACENTUAR TQ...
~~~~~ Evaluado: DIAL_5_POSICIONES...
~~~~~ Evaluado: POSICIÓN PALANCA...
~~~~~ Evaluado: VALOR_PORCENTUAL TQ...
~~~~~ Evaluado: INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA...
~~~~~ Evaluado: INDICACIÓN_REVERSA...
~~~~~ Evaluado: INDICACIÓN_PILOTO_AUTOMÁTICO...
~~~~~ Evaluado: ETIQUETA_NP...
~~~~~ Evaluado: VALOR_NUMÉRICO NP...
~~~~~ Evaluado: INDICACIÓN_ABANDERAMIENTO...
~~~~~ Evaluado: ETIQUETA_EGT...
~~~~~ Evaluado: VALOR_PORCENTUAL_EGT...
~~~~~ Evaluado: DIAL_3_POSICIONES_EGT...
~~~~~ Evaluado: VALOR_NUMÉRICO_EGT...
~~~~~ Evaluado: AGUJA_EGT...
..... Evaluando sus componentes ~~~~~

```

```

.....Evaluando el componente: DIAL_3_POSICIONES_EGT...
..... Sin sobrecarga
~~~~~ Evaluado: CAJA_DE_TEXTO...
~~~~~ Evaluado: MENSAJE_FWS...
~~~~~ Evaluado: CAJA_ATRACCIÓN...
~~~~~ Evaluado: MASTER_LIGHT...
~~~~~ Evaluado: CAUTION_LIGHT...
~~~~~ Evaluado: PANTALLA_DE_AVISOS...
~~~~~ Evaluado: SINGLE_CHIME...
~~~~~ Evaluado: REPETITIVE_CHIME...
~~~~~ Evaluado: MENSAJE_VOZ...
Sobrecarga en el componente.

```

Carga de trabajo : 56.90 %
 La Carga de trabajo puede reducirse, como máximo, hasta 43.00 %
 Tiempo estimado de entrenamiento para un piloto inexperto y no familiarizado con la interfaz 21.80 horas
 Tiempo estimado de entrenamiento para un piloto inexperto y familiarizado con la interfaz 10.90 horas
 Tiempo estimado de entrenamiento para un piloto experto, pero no relacionado con esta interfaz 7.27 horas
 Tiempo estimado de entrenamiento para un piloto experto y familiarizado con esta interfaz 5.45 horas

- Interferencias entre tareas y principio de inhibición

```

Evaluando interferencias en el componente: SINÓPTICO...
Evaluando interferencias en el componente: INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO...
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO interfiere con la tarea
MONITORIZACIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO LIMITACIÓN DE MODO
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO interfiere con la tarea
RECONOCIMIENTO del componente VALOR_NUMÉRICO LIMITACIÓN DE MODO
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO interfiere con la tarea
COMPRESIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO LIMITACIÓN DE MODO
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO interfiere con la tarea
ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO LIMITACIÓN DE MODO
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO interfiere con la tarea CONTROL
del componente VALOR_NUMÉRICO LIMITACIÓN DE MODO
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO interfiere con la tarea
MONITORIZACIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO LIMITACIÓN DE MODO
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO interfiere con la tarea
RECONOCIMIENTO del componente VALOR_NUMÉRICO LIMITACIÓN DE MODO
..... Los componentes: INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO y VALOR_NUMÉRICO LIMITACIÓN DE MODO deben situarse
en la misma zona de la interfaz
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO interfiere con la tarea
COMPRESIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO LIMITACIÓN DE MODO
..... Los componentes: INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO y VALOR_NUMÉRICO LIMITACIÓN DE MODO deben situarse
en la misma zona de la interfaz
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO interfiere con la tarea
ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO LIMITACIÓN DE MODO
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO interfiere con la tarea CONTROL
del componente VALOR_NUMÉRICO LIMITACIÓN DE MODO
...La tarea COMPRESIÓN del componente INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO interfiere con la tarea
MONITORIZACIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO LIMITACIÓN DE MODO
...La tarea COMPRESIÓN del componente INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO interfiere con la tarea
RECONOCIMIENTO del componente VALOR_NUMÉRICO LIMITACIÓN DE MODO
..... Los componentes: INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO y VALOR_NUMÉRICO LIMITACIÓN DE MODO deben situarse
en la misma zona de la interfaz
...La tarea COMPRESIÓN del componente INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO interfiere con la tarea COMPRESIÓN
del componente VALOR_NUMÉRICO LIMITACIÓN DE MODO
..... Los componentes: INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO y VALOR_NUMÉRICO LIMITACIÓN DE MODO deben situarse
en la misma zona de la interfaz
...La tarea COMPRESIÓN del componente INDICACIÓN LIMITACIÓN DE MODO interfiere con la tarea
ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO LIMITACIÓN DE MODO

```


...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_GRIS interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_GRIS interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente CAUTION_LIGHT
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_GRIS interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_GRIS interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente CAUTION_LIGHT
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_GRIS interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_GRIS interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente CAUTION_LIGHT
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_GRIS interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_GRIS interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_GRIS interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_GRIS interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_GRIS interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_GRIS interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_GRIS interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_GRIS interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_GRIS interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
Evaluando interferencias en el componente: SECTOR_BLANCO...
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente TENDENCIA_TQ
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente TENDENCIA_TQ
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente TENDENCIA_TQ
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente TENDENCIA_TQ

...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente ACENTUAR_TQ
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente ACENTUAR_TQ
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente ACENTUAR_TQ
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente ACENTUAR_TQ
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente POSICIÓN_PALANCA
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea CONTROL del componente POSICIÓN_PALANCA
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente POSICIÓN_PALANCA
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea CONTROL del componente POSICIÓN_PALANCA
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea CONTROL del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea COMPRENSIÓN del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea CONTROL del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente SECTOR_BLANCO interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA

...La tarea COMPRENSIÓN del componente ACENTUAR_TQ interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente MASTER_LIGHT
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente ACENTUAR_TQ interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente CAUTION_LIGHT
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente ACENTUAR_TQ interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente ACENTUAR_TQ interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente CAUTION_LIGHT
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente ACENTUAR_TQ interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT
...La tarea COMPRENSIÓN del componente ACENTUAR_TQ interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente CAUTION_LIGHT
...La tarea COMPRENSIÓN del componente ACENTUAR_TQ interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT
...La tarea COMPRENSIÓN del componente ACENTUAR_TQ interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente CAUTION_LIGHT
...La tarea COMPRENSIÓN del componente ACENTUAR_TQ interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente ACENTUAR_TQ interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS
...La tarea COMPRENSIÓN del componente ACENTUAR_TQ interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente ACENTUAR_TQ interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME
...La tarea COMPRENSIÓN del componente ACENTUAR_TQ interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente ACENTUAR_TQ interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME
...La tarea COMPRENSIÓN del componente ACENTUAR_TQ interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente ACENTUAR_TQ interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
...La tarea COMPRENSIÓN del componente ACENTUAR_TQ interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
Evaluando interferencias en el componente: DIAL_5_POSICIONES...
Evaluando interferencias en el componente: POSICIÓN_PALANCA...
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea COMPRENSIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea COMPRENSIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea COMPRENSIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea COMPRENSIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea COMPRENSIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea CONTROL del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea CONTROL del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea CONTROL del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea CONTROL del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea CONTROL del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
...La tarea MONITORIZACIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
...La tarea RECONOCIMIENTO del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA

...La tarea COMPRENSIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea CONTROL del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea CONTROL del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea CONTROL del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea CONTROL del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS
 ...La tarea CONTROL del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME
 ...La tarea CONTROL del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME
 ...La tarea CONTROL del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
 ...La tarea CONTROL del componente POSICIÓN_PALANCA interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
 Evaluando interferencias en el componente: VALOR_PORCENTUAL_TQ...
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ interfiere con la tarea CONTROL del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
 Los componentes: VALOR_PORCENTUAL_TQ y INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA deben situarse en la misma zona de la interfaz
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
 Los componentes: VALOR_PORCENTUAL_TQ y INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA deben situarse en la misma zona de la interfaz
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ interfiere con la tarea CONTROL del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ interfiere con la tarea CONTROL del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
 ...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA
 ...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_TQ interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA

...La tarea CONTROL del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente MASTER_LIGHT

...La tarea CONTROL del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente MASTER_LIGHT

...La tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea RECONOCIMIENTO del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea RECONOCIMIENTO del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea RECONOCIMIENTO del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea RECONOCIMIENTO del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea COMPRENSIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea COMPRENSIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea COMPRENSIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea COMPRENSIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea CONTROL del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea CONTROL del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea CONTROL del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea CONTROL del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT

...La tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS

...La tarea RECONOCIMIENTO del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS

...La tarea COMPRENSIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS

...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS

...La tarea CONTROL del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS

...La tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME

...La tarea RECONOCIMIENTO del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME

...La tarea COMPRENSIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME

...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME

...La tarea CONTROL del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME

...La tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME

...La tarea RECONOCIMIENTO del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME

...La tarea COMPRENSIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME

...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME

...La tarea CONTROL del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME

...La tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ

...La tarea RECONOCIMIENTO del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ

...La tarea COMPRENSIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ

...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ

...La tarea CONTROL del componente VALOR_NUMÉRICO_NP interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ

Evaluando interferencias en el componente: INDICACIÓN_ABANDERAMIENTO...

...La tarea MONITORIZACIÓN del componente INDICACIÓN_ABANDERAMIENTO interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente VALOR_PORCENTUAL_EGT

...La tarea CONTROL del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente MASTER_LIGHT
 ...La tarea CONTROL del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente MASTER_LIGHT
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea CONTROL del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea CONTROL del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea CONTROL del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea COMPRENSIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea CONTROL del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS
 ...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS
 ...La tarea CONTROL del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME
 ...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME
 ...La tarea CONTROL del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME
 ...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME
 ...La tarea CONTROL del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
 ...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
 ...La tarea CONTROL del componente AGUJA_EGT interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
 Evaluando interferencias en el componente: CAJA_DE_TEXTO...
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente CAJA_DE_TEXTO interfiere con la tarea MONITORIZACIÓN del componente MENSAJE_FWS
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente CAJA_DE_TEXTO interfiere con la tarea RECONOCIMIENTO del componente MENSAJE_FWS

...La tarea COMPRENSIÓN del componente MASTER_LIGHT interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
 ...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente MASTER_LIGHT interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
 Evaluando interferencias en el componente: CAUTION_LIGHT...
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente CAUTION_LIGHT interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente CAUTION_LIGHT interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS
 ...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT interfiere con la tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente CAUTION_LIGHT interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente CAUTION_LIGHT interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME
 ...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente CAUTION_LIGHT interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente CAUTION_LIGHT interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME
 ...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME
 ...La tarea MONITORIZACIÓN del componente CAUTION_LIGHT interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
 ...La tarea RECONOCIMIENTO del componente CAUTION_LIGHT interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
 ...La tarea COMPRENSIÓN del componente CAUTION_LIGHT interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
 ...La tarea ATRACTOR_DE_ATENCIÓN del componente CAUTION_LIGHT interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
 Evaluando interferencias en el componente: PANTALLA_DE_AVISOS...
 ...La tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS interfiere con la tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME
 ...La tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME
 ...La tarea CONTROL del componente PANTALLA_DE_AVISOS interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
 Evaluando interferencias en el componente: SINGLE_CHIME...
 ...La tarea CONTROL del componente SINGLE_CHIME interfiere con la tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME
 Evaluando interferencias en el componente: REPETITIVE_CHIME...
 ...La tarea CONTROL del componente REPETITIVE_CHIME interfiere con la tarea CONTROL del componente MENSAJE_VOZ
 Evaluando interferencias en el componente: MENSAJE_VOZ...

- Percepción sensorial

Componente SINÓPTICO incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO Este componente alfanumérico incluye 4 colores. Evaluación correcta

Componente INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO BLANCO color de foreground NO apropiado para la visión focal
 Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)

Componente INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO Este componente alfanumérico incluye 3 colores. Evaluación correcta

Componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)

Componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente ETIQUETA_TQ Este componente alfanumérico incluye 2 colores. Evaluación correcta

Componente ETIQUETA_TQ BLANCO color de foreground NO apropiado para la visión focal

El color de background NEGRO NO está permitido con el color de Notificación SIN_COLOR_DEFINIDO

Componente ETIQUETA_TQ incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente LECTURA_DIGITAL Este componente alfanumérico incluye 4 colores. Evaluación correcta

Componente LECTURA_DIGITAL Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)

Componente LECTURA_DIGITAL incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta

Componente AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)

Componente AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente SECTOR_GRIS Este componente con gráficos incluye 1 colores. Evaluación correcta
Componente SECTOR_GRIS GRIS_OSCURO color de foreground NO apropiado para la visión focal
El color de background GRIS_OSCURO NO está permitido con el color de foreground GRIS_OSCURO
El color de background GRIS_OSCURO NO está permitido con el color de Notificación SÍN_COLOR_DEFINIDO
Componente SECTOR_GRIS incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente SECTOR_BLANCO Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta
Componente SECTOR_BLANCO Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)
Componente SECTOR_BLANCO incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente TENDENCIA_TQ Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta
Componente TENDENCIA_TQ Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)
Componente TENDENCIA_TQ incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente ACENTUAR_TQ Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta
Componente ACENTUAR_TQ Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)
Componente ACENTUAR_TQ incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente DIAL_5_POSICIONES Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta
Componente DIAL_5_POSICIONES BLANCO color de foreground NO apropiado para la visión focal
Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)
Componente DIAL_5_POSICIONES incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente POSICIÓN_PALANCA Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta
Componente POSICIÓN_PALANCA AZUL color de foreground NO apropiado para la visión focal
Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)
Componente POSICIÓN_PALANCA no incluye confirmación de acciones

Componente VALOR_PORCENTUAL_TQ Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta
Componente VALOR_PORCENTUAL_TQ Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)
Componente VALOR_PORCENTUAL_TQ incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta
Componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)
Componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente INDICACIÓN_REVERSA Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta
Componente INDICACIÓN_REVERSA Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)
Componente INDICACIÓN_REVERSA incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente INDICACIÓN_PILOTO_AUTOMÁTICO Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta
Componente INDICACIÓN_PILOTO_AUTOMÁTICO Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)
Componente INDICACIÓN_PILOTO_AUTOMÁTICO incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente ETIQUETA_NP Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta
Componente ETIQUETA_NP Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)
Componente ETIQUETA_NP incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente VALOR_NUMÉRICO_NP Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta
Componente VALOR_NUMÉRICO_NP Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)
Componente VALOR_NUMÉRICO_NP incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente INDICACIÓN_ABANDERAMIENTO Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta
Componente INDICACIÓN_ABANDERAMIENTO Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)
Componente INDICACIÓN_ABANDERAMIENTO incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente ETIQUETA_EGT Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta
Componente ETIQUETA_EGT Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)
Componente ETIQUETA_EGT incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente VALOR_PORCENTUAL_EGT Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta
Componente VALOR_PORCENTUAL_EGT Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)
Componente VALOR_PORCENTUAL_EGT incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente DIAL_3_POSICIONES_EGT Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta
Componente DIAL_3_POSICIONES_EGT Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)
Componente DIAL_3_POSICIONES_EGT incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente VALOR_NUMÉRICO_EGT Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta
Componente VALOR_NUMÉRICO_EGT Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)

Componente VALOR_NUMÉRICO_EGT incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente AGUJA_EGT Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta

Componente AGUJA_EGT Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)

Componente AGUJA_EGT incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente CAJA_DE_TEXTO Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta

Componente CAJA_DE_TEXTO Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)

Componente CAJA_DE_TEXTO incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente MENSAJE_FWS Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta

Componente MENSAJE_FWS Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)

Componente MENSAJE_FWS incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente CAJA_ATRACCIÓN Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta

Componente CAJA_ATRACCIÓN Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)

Componente CAJA_ATRACCIÓN incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente MASTER_LIGHT incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente CAUTION_LIGHT incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente PANTALLA_DE_AVISOS Este componente con gráficos incluye 2 colores. Evaluación correcta

Componente PANTALLA_DE_AVISOS Combinación de colores correcta para (background, foreground), (background, notificación)

Componente PANTALLA_DE_AVISOS incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente SINGLE_CHIME incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente REPETITIVE_CHIME incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente MENSAJE_VOZ incluye confirmación de acciones. Evaluación correcta

Componente INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente INDICACIÓN_LIMITACIÓN_DE_MODO el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente VALOR_NUMÉRICO_LIMITACIÓN_DE_MODO el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente ETIQUETA_TQ no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente ETIQUETA_TQ el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente LECTURA_DIGITAL no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente LECTURA_DIGITAL el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente AGUJA_VALOR_ACTUAL_TQ el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente DIAL_5_POSICIONES no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente DIAL_5_POSICIONES el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente SECTOR_GRIS no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente SECTOR_GRIS el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente SECTOR_BLANCO no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente SECTOR_BLANCO el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente TENDENCIA_TQ no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente TENDENCIA_TQ el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente ACENTUAR_TQ no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente ACENTUAR_TQ el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente POSICIÓN_PALANCA no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente POSICIÓN_PALANCA el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente SECTOR_GRIS no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente SECTOR_GRIS el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente SECTOR_BLANCO no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente SECTOR_BLANCO el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente TENDENCIA_TQ no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente TENDENCIA_TQ el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente ACENTUAR_TQ no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente ACENTUAR_TQ el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente DIAL_5_POSICIONES no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente DIAL_5_POSICIONES el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente POSICIÓN_PALANCA no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente POSICIÓN_PALANCA el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente VALOR_PORCENTUAL_TQ no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente VALOR_PORCENTUAL_TQ el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente INDICACIÓN_OPERACIÓN_EN_TIERRA el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente INDICACIÓN_REVERSA no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente INDICACIÓN_REVERSA el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente INDICACIÓN_PILOTO_AUTOMÁTICO no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente INDICACIÓN_PILOTO_AUTOMÁTICO el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente ETIQUETA_NP no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente ETIQUETA_NP el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente VALOR_NUMÉRICO_NP no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente VALOR_NUMÉRICO_NP el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente INDICACIÓN_ABANDERAMIENTO no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente INDICACIÓN_ABANDERAMIENTO el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente ETIQUETA_EGT no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente ETIQUETA_EGT el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente VALOR_PORCENTUAL_EGT no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente VALOR_PORCENTUAL_EGT el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente DIAL_3_POSICIONES_EGT no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente DIAL_3_POSICIONES_EGT el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos

Componente VALOR_NUMÉRICO_EGT no utiliza minúsculas. Evaluación correcta

Componente VALOR_NUMÉRICO_EGT el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos
Componente AGUJA_EGT no utiliza minúsculas. Evaluación correcta
Componente AGUJA_EGT el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos
Componente DIAL_3_POSICIONES_EGT no utiliza minúsculas. Evaluación correcta
Componente DIAL_3_POSICIONES_EGT el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos
Componente CAJA_DE_TEXTO no utiliza minúsculas. Evaluación correcta
Componente CAJA_DE_TEXTO el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos
Componente MENSAJE_FWS no utiliza minúsculas. Evaluación correcta
Componente MENSAJE_FWS el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos
Componente CAJA_ATRACCIÓN no utiliza minúsculas. Evaluación correcta
Componente CAJA_ATRACCIÓN el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos
Componente PANTALLA_DE_AVISOS no utiliza minúsculas. Evaluación correcta
Componente PANTALLA_DE_AVISOS el tamaño de letra debe aumentarse hasta 8 puntos
...Evaluación no definida para mensajes de voz
Evaluando número de notificaciones auditivas en la interfaz ...

Interfaz: Número de mensajes de voz. Evaluación correcta
Interfaz: Número de mensajes auditivos. Evaluación correcta