

FACTORES HUMANOS - FFHH

Flight & Me

La seguridad de la aviación es el objetivo más importante de la Organización de Aviación Civil Internacional. En éste sentido se ha logrado un gran progreso, pero son necesarias otras mejoras que también pueden alcanzarse. Se sabe desde hace mucho tiempo que de cada cuatro accidentes, tres son el resultado de un comportamiento humano imperfecto, por lo cual cabe esperar que cualquier adelanto en éste sentido aportara una contribución importantísima al mejoramiento de la seguridad de vuelo

Uno de los métodos escogidos para poner en ejecución la Resolución A26-9 de la Asamblea fue la publicación de una serie de compendios que trataban de los diversos aspectos de los factores humanos y su comportamiento en la seguridad de los vuelos.

Estos compendios estaban destinados esencialmente a su uso por los Estados para aumentar el conocimiento de su personal sobre la influencia del comportamiento humano en la seguridad.

Los compendios estaban destinados a los gestores tanto de las administraciones de aviación civil como de la industria aeronáutica, incluso a los gerentes de operaciones y de instrucción de las líneas aéreas. Otros destinatarios también incluían a los órganos normativos y las dependencias de seguridad e investigación, los establecimientos de instrucción, así como al personal principal e intermedio no operativo de la administración de las líneas aéreas.

DEFINICIONES

Asertividad: Es la facultad de expresar los sentimientos y opiniones de una manera clara y entendible.

Calidad: Grado en el que un conjunto de características inherentes cumplen con los requisitos (regulaciones, procedimientos, estándares, expectativas de los usuarios de la información/datos aeronáuticos).

Eficiencia: Disminución de errores, mejor aprovechamiento de los recursos.

Eficacia: Extensión en la que se realizan las actividades planificadas y se alcanzan los resultados planificados.

Ergonomía: Interacción entre el ser humano y los otros elementos con los que se relaciona.

Condiciones de Trabajo: Es el conjunto de variables que definen la realización de una tarea concreta y el entorno en que ésta se realiza y que determina la satisfacción del trabajador.

Factores humanos: La OACI define de la siguiente manera: "Los Factores Humanos se refieren a las personas en sus situaciones de vida y trabajo, a su relación con la máquinas, con los procedimientos y con los ambientes que les rodean y se refieren también a sus relaciones con los demás".

Peligro: Aquella fuente o situación con capacidad de producir daño en términos de lesiones, daños a la propiedad, daños al medio ambiente o una combinación de ellos.

Principios relativos a factores humanos: Principios que se aplican al diseño, certificación, instrucción, operaciones y mantenimiento aeronáuticos y cuyo objeto consiste en establecer una

interfaz segura entre los componentes humano y de otro tipo del sistema mediante la debida consideración de la actividad humana.

Riesgo Laboral: Posibilidad de que un trabajador sufra un determinado daño derivado del trabajo, es una combinación de la frecuencia y la probabilidad y de las consecuencias que podrían derivarse de la materialización de un peligro.

Seguridad: Prevención (riesgo mínimo de accidentes).

Trabajo: Es toda actividad de transformación de la naturaleza, para satisfacer las necesidades humanas.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES SOBRE FACTORES HUMANOS

Es necesario observar que estos conceptos tienen un espacio muy importante en el procesamiento de la información/datos aeronáuticos, y que por tanto es necesario comenzar a desarrollar su aplicación en los Servicios de Información Aeronáutica.

“Factores Humanos” es una expresión que ha de definirse claramente, dado que cuando éstas palabras se utilizan en el lenguaje ordinario suelen aplicarse a cualquier factor relacionado con los seres humanos. El elemento humano es la parte más flexible, adaptable y valiosa del sistema aeronáutico, pero es también la más vulnerable a influencias que pueden afectar negativamente su comportamiento.

La expresión “error humano” no constituye ayuda alguna para la prevención de accidentes, dado que aunque puede indicar **DÓNDE** se produce un colapso del sistema, no ofrece ninguna orientación en cuanto a **POR QUÉ** ocurre eso.

Un error atribuido a los seres humanos en el sistema puede haberse producido por características del diseño o haber sido alentado por un adiestramiento inadecuado, procedimientos mal concebidos o por una concepción o disposición general deficiente de las listas de verificación o de los manuales. Es más, la expresión “error humano” permite encubrir factores subyacentes que deben ponerse en evidencia si se quieren evitar accidentes. En realidad, la filosofía moderna en materia de seguridad sostiene que el error humano debería ser el punto de partida más bien que el punto final en la investigación y la prevención de accidentes.

Para éste manual, la expresión “factores humanos” se utiliza como denominación de una disciplina particular. Las expresiones “aspectos humanos” y “elementos humanos” en su uso corriente, constituyen valiosas alternativas que ayudan a evitar la ambigüedad y facilitan la comprensión.

Los factores humanos se refieren a las personas en sus situaciones de vida y de trabajo; a su relación con los equipos, con los procedimientos y con los ambientes que los rodean; y se refiere también a sus relaciones con los demás. Directamente podríamos decir que: “Los factores humanos tratan de llevar a su óptimo nivel la relación entre las personas y sus actividades”. Sus objetivos pueden apreciarse como la eficacia del sistema, lo cual incluye seguridad, eficiencia y bienestar del individuo.

Recientemente, estos conceptos se han ampliado, incluyendo la interacción entre las personas, grupos y la organización a la que pertenecen, además a las interacciones entre las organizaciones que constituyen el sistema aeronáutico.

MODELO CONCEPTUAL DE LOS FACTORES HUMANOS

Resulta útil emplear un modelo como ayuda para la comprensión de los factores humanos, ya que ello permite un acercamiento gradual a dicha comprensión. Un diagrama práctico para ilustrar éste modelo conceptual utiliza bloques para representar los diversos elementos componentes de los factores humanos. El modelo puede entonces construirse bloque por bloque, ofreciéndose una impresión gráfica de la necesidad de hacer corresponder los elementos.

El concepto SHEL [cuyo nombre se deriva de las letras iniciales de sus componentes en inglés: soporte lógico (Software), equipo (Hardware), ambiente (Environment), elemento humano (Liveware)] fue concebido inicialmente por Edwards en 1972, y un diagrama modificado ilustra el modelo formulado por Hawkins en 1975.



Modelo SHEL modificado por Hawkins

"Elemento humano" (Liveware). En el centro del modelo se encuentra una persona, el componente más crítico y más flexible del sistema. Pero las personas están sujetas a considerables variaciones en su desempeño y sufren muchas limitaciones, la mayoría de las cuales son actualmente previsibles en términos generales. Los bordes de este bloque no son sencillos y rectos, de modo que los demás componentes del sistema deben ajustarse cuidadosamente a ellos si se quieren evitar tensiones en el sistema y su eventual ruptura.

A fin de lograr esta correspondencia, es indispensable comprender las características de este componente central. He aquí algunos de sus rasgos más importantes:

- a) **Tamaño y forma físicos.** En la concepción de cualquier lugar de trabajo y de la mayor parte de los equipos, desempeñan una función vital las medidas y movimientos del cuerpo, que varían de acuerdo con la edad, los grupos étnicos y el sexo. Las decisiones deben tomarse al principio del proyecto, y los datos requeridos para tomar esas decisiones pueden derivarse de la antropometría y la biomecánica.

- b) **Necesidades físicas.** Las necesidades de alimento, agua y oxígeno que tienen las personas son estudiadas por la fisiología y la biología.
- c) **Características aportadas.** Los seres humanos están dotados de un sistema sensorial que les permite recopilar información del mundo que los rodea, y los faculta para responder a los hechos externos y para llevar a cabo las tareas necesarias. Pero todos sus sentidos están sujetos a degradación por una razón u otra, y en este caso las fuentes de conocimiento son la fisiología, la psicología sensorial y la biología.
- d) **Tratamiento de la información.** Esta capacidad humana tiene graves limitaciones. Frecuentemente, la concepción deficiente de instrumentos y sistemas de advertencia ha sido el resultado de no haber tomado en cuenta la capacidad y limitaciones del sistema humano de tratamiento de la información. En este aspecto se ven involucradas la memoria a corto y largo plazo, así como la motivación y el estrés. La psicología es la fuente de conocimientos básicos al respecto.
- e) **Características salientes.** Una vez que se ha detectado y procesado la información, se envían mensajes a los músculos para iniciar la respuesta deseada, ya sea un movimiento de control físico o el principio de alguna forma de comunicación. Es necesario conocer las fuerzas de control aceptables y la dirección del movimiento, para lo cual la biomecánica, la fisiología y la psicología suministran los conocimientos requeridos.
- f) **Tolerancias ambientales.** La temperatura, la presión, la humedad, el ruido, el momento del día, la luz y la oscuridad, son elementos que pueden reflejarse en el comportamiento y en el bienestar de las personas. También cabe prever que las alturas, los espacios encerrados y un ambiente de trabajo aburrido o lleno de tensión influyan sobre el desempeño. Esta vez, la información se obtiene de la fisiología, la biología y la psicología.

El elemento humano es el núcleo de actividad del modelo SHEL sobre los factores humanos. Los componentes restantes deben adaptarse y hacer corresponder a este componente central.

Elemento humano-equipo. Esta interfaz es la que mas corrientemente se considera cuando hablamos de sistemas ser humano-máquina: el diseño de los asientos para ajustarlos a las características del cuerpo humano sentado, de pantallas que se ajusten a las características sensoriales y a las del procesamiento de información del usuario, de controles dotados de movimiento, codificación y ubicación apropiados. Puede ser que el usuario no se dé nunca cuenta de una deficiencia **L-H**, aun cuando finalmente pueda provocar un desastre, porque la característica humana natural de adaptarse a los desajustes del **L-H** encubrirá esa deficiencia, pero no eliminara su existencia. Esto constituye un peligro potencial, del cual deben estar advertidos los proyectistas. Con la introducción de las computadoras y los sistemas avanzados de automatización, esta interfaz se ha puesto al frente de los problemas que el estudio de los factores humanos habrá de resolver.

Elemento humano-soporte lógico. (L-S) Esto abarca al ser humano y a los aspectos no físicos del sistema, tales como los procedimientos, la presentación general de manuales y listas de verificación, la simbología y los programas de computadora. Los problemas de elemento humano-soporte lógico aparecen en los informes de accidentes pero a menudo son difíciles de percibir y, en consecuencia, mas difíciles de resolver (por ejemplo, la mala interpretación de listas de verificación o de la simbología, el no cumplimiento de los procedimientos, etc.).

Elemento humano-ambiente. (L-E) La interfaz ser humano-ambiente fue una de las que primero se reconocieron en la aviación. Inicialmente, todas las medidas tomadas tenían por objeto adaptar al ser humano para afrontar el ambiente (cascos, trajes de vuelo, mascarar de oxígeno, trajes

antigravitatorios). Más tarde, la tendencia fue invertir este procedimiento, adaptando el ambiente a las necesidades humanas (presionización y sistemas de aire acondicionado, insonorización). Nuevos desafíos han surgido hoy, sobre todo, el peligro de la concentración del ozono y la radiación a altos niveles de vuelo y los problemas relacionados con la perturbación de los ritmos biológicos y los correspondientes trastornos por la falta de sueño, como consecuencia de la mayor velocidad en los viajes transmeridianos. Dado que las ilusiones y la desorientación constituyen la raíz de muchos accidentes de aviación, la interfaz **L-E** debe tomar en consideración los errores perceptivos provocados por las condiciones ambientales. El sistema de la aviación funciona dentro del contexto de amplias restricciones políticas y económicas, y esos aspectos del ambiente interactúan en esta interfaz. Aunque la posibilidad de modificar estas influencias está fuera del alcance de los profesionales de los factores humanos, su incidencia es fundamental y deberían tenerse debidamente en cuenta y ocuparse de ellas los dirigentes que están facultados para hacerlo.

Elemento humano-elemento humano. (L-L) Se trata de la interfaz entre personas. La instrucción y la verificación de idoneidad se han realizado tradicionalmente en forma individual. Si cada miembro del equipo era idóneo, se suponía que el grupo constituido por estas personas también era idóneo y eficiente. Sin embargo, no siempre ha sido así, y durante muchos años se ha dedicado una creciente atención al fracaso del trabajo en equipo. Las tripulaciones de vuelo, los controladores de tránsito aéreo, los técnicos de mantenimiento y otros miembros del personal operacional funcionan como grupos y las influencias de grupo ejercen una función importante para determinar el comportamiento y el desempeño. En esta interfaz nos ocupamos de liderazgo, la cooperación, el trabajo en equipo y las interacciones de personalidades. Las relaciones personal/administración se encuentran también dentro del alcance de esta interfaz, ya que el ámbito empresarial y las presiones derivadas de la explotación en la compañía pueden afectar considerablemente el comportamiento humano.

LA NECESIDAD DE CONSIDERAR LOS FACTORES HUMANOS EN LA INDUSTRIA AERONÁUTICA

Es curioso que aunque recurrimos al consejo de un abogado calificado cuando tenemos algún litigio, contratamos un arquitecto idóneo para construir una casa o consultamos a un médico para resolver un problema de salud, cuando se trata de resolver problemas que son del ámbito de los factores humanos, hemos adoptado el **método intuitivo**, y en muchos casos superficial, a pesar de que muchas vidas puedan depender del resultado de nuestra acción. Tener muchos años de experiencia en la industria aeronáutica o miles de horas de vuelo pueden tener poca o ninguna importancia para encontrar la solución de problemas que sólo pueden resolverse si hay una profunda comprensión de la influencia de los factores humanos.

Esto es de suma importancia pues, como ya se ha mencionado, sabemos desde hace bastante tiempo que tres de cada cuatro accidentes son el resultado de errores de comportamiento cometidos por personas aparentemente sanas y debidamente calificadas. Las fuentes de algunos de esos errores pueden atribuirse a equipos deficientes o a malos diseños de procedimientos, a una formación inadecuada o a instrucciones de utilización insuficientes. Sea cual fuere su origen, el problema de la capacidad y las limitaciones en el desempeño y el comportamiento humano es esencial a la tecnología de los factores humanos. El costo, tanto en términos humanos como financieros, de un comportamiento humano imperfecto es tan considerable, que ya no resulta apropiado proceder con métodos improvisados o intuitivos en materia de factores humanos. Siendo la seguridad el objetivo final de todos los que se dedican a la aviación, su consecuencia lógica es asegurarse de que exista un nivel apropiado de conocimientos acerca de los factores humanos en toda la industria aeronáutica.

La necesidad de los factores humanos en la industria aeronáutica se basa en su repercusión sobre dos aspectos amplios, que se encuentran tan estrechamente interrelacionados que en muchos casos su influencia es única, de modo que los factores que afectan a uno pueden afectar también al otro. Dichos aspectos son:

1.- La eficacia del sistema

- seguridad operacional
- eficiencia

2.- El bienestar del personal operacional.

LA EFICACIA DEL SISTEMA

Seguridad operacional

La mejor forma de ilustrar los efectos de los problemas relativos a los factores humanos sobre la seguridad de vuelo es mediante ejemplos de accidentes. Aquí se describen algunos accidentes en los cuales ciertos aspectos relativos a los factores humanos provocaron la atención de la comunidad de la aviación y abrieron el camino a la proliferación de los esfuerzos relacionados con los factores humanos.

- 1) En un mismo mes - diciembre de 1972 - se estrellaron un L1011 en las Everglades, región pantanosa de Florida (NTSB/AAR 73-14) Y un B737 en el aeropuerto Midway de Chicago (NTSB/AAR 73-16). En el primer caso, no se habían asignado debidamente las funciones y toda la tripulación de vuelo estaba preocupada por un bombillo indicador del tren de aterrizaje. En el segundo caso, el capitán - en su calidad de líder - no hizo uso apropiado de los recursos de que disponía.
- 2) En 1974, un B707 se estrelló durante la aproximación a Pago-Pago (Samoa), y 96 personas perdieron la vida. Uno de los factores causantes del accidente fue una ilusión óptica relacionada con el fenómeno del "agujero negro" (NTSB/AAR 74-15).
- 3) En 1974, un DC10 se estrelló después del despegue por un defecto en una puerta de carga, que se abrió y se rompió. En este caso, se citaron como factores la fuerza aplicada al cerrar la puerta por el empleado encargado de manipular la carga, así como el diseño de la puerta y una utilización deficiente de un boletín de servicio (Circular 132-AN/93 de la OACI).
- 4) En 1974, un B727 que se aproximaba al aeropuerto Dulles de Washington, se estrelló contra el monte Weather, causando la pérdida de 92 vidas. La falta de claridad y deficiencias en los procedimientos y reglamentos de control de tránsito aéreo provocaron el accidente. También se citó como factor la falta de medidas oportunas por parte del organismo normativo para resolver un problema conocido relativo a la terminología del tránsito aéreo (NTSB/AAR 75-16).
- 5) En 1977, dos B747 chocaron mientras se encontraban en la pista en Tenerife, ocasionando 583 muertes. Una falla en los procedimientos normales de comunicación y la mala interpretación de mensajes verbales se consideraron factores causantes (Circular 153-AN/98 de la OACI).

- 6) En 1979, un DC10 se estrelló contra el monte Erebus en la Antártida. Ciertos errores en la transferencia de información y en la entrada de datos tuvieron que ver en el accidente (Informe sobre accidentes Núm. 79/139, Nueva Zelandia).
- 7) En 1982, un B737 se estrelló después de despegar, en condiciones de engelamiento, en Washington. Lecturas erróneas del empuje de los motores (superiores a las reales), y la falta de firmeza del copiloto al comunicar su preocupación y sus comentarios acerca de la performance de la aeronave durante el despegue figuraron entre los factores citados (NTSB/AAR 82-08).
- 8) El informe sobre el accidente de un A300 en 1983, en Kuala Lumpur, sugiere que la diferente disposición general del tablero de instrumentos en las aeronaves de la flota había afectado negativamente el desempeño de la tripulación (La aeronave había sido arrendada sin tripulación) (Informe sobre accidentes Núm. 2/83, Malasia).
- 9) En 1984, un DC10 se salió de la pista en el aeropuerto John F. Kennedy en Nueva York. En el informe sobre el accidente pudo observarse un exceso de confianza en la automatización (NTSB/AAR 84-15). También se citó la misma actitud como factor, en un incidente de pérdida de control en 1985, en el cual un B747 experimentó una caída de 20000 FT en menos de dos minutos y sufrió daños estructurales (NTSB/AAR 86-03).
- 10) En 1987, un MD80 se estrelló durante el despegue en Detroit. Los pilotos no habían hecho el reglaje de flaps, violando así procedimientos normales de operación. Por razones no determinadas, la alarma de configuración de despegue no sonó (NTSB/AAR 88-05).

La eficiencia

La necesidad de que se aplique el concepto de los factores humanos no se limita a la seguridad del vuelo. También la eficiencia se ve radicalmente afectada por la aplicación o no de conocimientos sobre los factores humanos. Por ejemplo, puede esperarse que el descuido de ciertos factores humanos en las operaciones de vuelo sea una causa de rendimiento imperfecto en el desempeño de las tareas. Los siguientes párrafos tienen por objeto presentar una reseña general de aplicaciones específicas de conocimientos sobre los factores humanos en relación con la eficiencia.

Puede considerarse que la motivación refleja la diferencia entre lo que una persona **puede hacer** y lo que **realmente hará**; las personas motivadas se desempeñan con mayor eficacia que aquellas que no lo están. El error humano y sus consecuencias en la aviación pueden controlarse mediante la tecnología sobre factores humanos, mejorando así la eficacia.

La disposición general apropiada de las oficinas y de los puestos de trabajo fomenta y mejora la eficacia. Con toda probabilidad, los miembros del personal que hayan recibido adiestramiento apropiado y supervisión idónea se desempeñarán más eficazmente. Desde el punto de vista de la eficiencia, los procedimientos normalizados de operación (PNO), que se han elaborado a fin de suministrar los métodos más eficaces para las operaciones, deben considerarse como un medio de medir el comportamiento del personal.

La aplicación de principios de interacción de grupo refuerza la posición de mando del supervisor, cuya función de líder es esencial a la integración del grupo, para obtener así un desempeño más eficiente. La relación entre empleados y los usuarios también es importante. El personal debe ser capaz de comprender el comportamiento de los usuarios y las emociones con que se pueden encontrar, y también deben saber cómo encarar las situaciones emocionales.

EL BIENESTAR DEL PERSONAL OPERACIONAL

Tres de los muchos factores que pueden influir sobre el bienestar del personal de operaciones son la fatiga, la perturbación de los ritmos del organismo y la falta o perturbación del sueño. Estos se explican brevemente a continuación. Entre otros factores que afectan el bienestar fisiológico y psicológico, cabe citar la temperatura, el ruido, la humedad, la luz, la vibración, el diseño del puesto de trabajo y la comodidad de los asientos.

La fatiga

La fatiga puede considerarse como una condición que refleja un descanso insuficiente, así como una serie de síntomas relacionados con el desplazamiento o la alteración de los ritmos biológicos. La fatiga aguda es producida por largos periodos de servicio o por una sucesión de tareas muy exigentes realizadas en un corto lapso. La fatiga crónica es producida por los efectos acumulativos de la fatiga a largo plazo. La fatiga mental puede ser resultado de un estrés emocional, aun con un descanso físico normal. Al igual que la alteración de los ritmos del organismo, la fatiga puede conducir a situaciones potencialmente peligrosas y a un deterioro de la eficiencia y el bienestar. La hipoxia y el ruido son factores contribuyentes.

La perturbación de los ritmos del organismo

El ritmo del cuerpo más comúnmente reconocido es el circadiano o ritmo de las 24 horas, que guarda relación con el tiempo de rotación de la tierra. Este ciclo se mantiene por intervención de varios elementos: los más poderosos son la luz y la oscuridad, pero las comidas y las actividades físicas y sociales también ejercen influencia en el funcionamiento de los sistemas orgánicos. La seguridad, la eficiencia y el bienestar se ven afectados por la alteración del patrón de los ritmos biológicos.

Desincronosis o desfase ("jet lag") son los términos utilizados para describir la alteración o desincronización de los ritmos del organismo, y se refieren a la falta de bienestar que se experimenta después trabajos forzados y de larga duración. Los síntomas incluyen la perturbación del sueño y trastornos en los hábitos de alimentación y evacuación, así como languidez, ansiedad, irritabilidad y depresión. Evidencias objetivas muestran aumentos en los tiempos de reacción y de toma de decisiones, pérdidas de la memoria o recuerdos imprecisos con respecto a hechos recientes, errores de computación y una tendencia a aceptar normas inferiores de rendimiento operativo.

El sueño

Los síntomas que se reconocen más comúnmente en relación con jornadas largas de trabajo resultan de la alteración del ritmo normal del sueño, que en algunos casos entraña la pérdida total del sueño. Los adultos suelen dormir un solo periodo prolongado por día; una vez establecido este patrón, se convierte en un ritmo natural del cerebro, aun cuando se imponga una vigilia prolongada. Pueden apreciarse grandes diferencias entre las personas con respecto a su capacidad para dormir desfasados con sus ritmos biológicos. La tolerancia a las alteraciones del sueño varía de una persona a otra y puede atribuirse esencialmente a la química del cuerpo y, en algunos casos, a factores de estrés emocional.

El insomnio define una condición en la cual la persona tiene dificultad para dormirse o no duerme bien. Cuando ocurre en condiciones normales y en relación con los ritmos del organismo, se le conoce como insomnio primario. La dificultad para dormir en determinadas situaciones en las que se alteran los ritmos biológicos, es la que nos interesa en el caso de largas jornadas de trabajo.

El uso de drogas como, p.ej., los hipnóticos, sedantes (incluidos los antihistamínicos de efecto sedativo) y tranquilizantes utilizados para inducir el sueño, al ingerirse en dosis terapéuticas suelen ser inapropiados, ya que tienen efectos negativos sobre el comportamiento hasta 36 horas después de su administración. El alcohol es un sedante del sistema nervioso. Tiene efecto soporífero, pero trastorna los patrones normales del sueño y entraña un sueño alterado. Sus efectos persisten después de haber desaparecido de la sangre ("tener resaca"). La ingestión de hipnóticos en combinación con bebidas alcohólicas puede producir consecuencias extrañas. La cafeína que contienen el café, el té y diversas bebidas gaseosas aumenta la agudeza de los sentidos y normalmente reduce los tiempos de reacción, pero también es probable que perturbe el sueño. Las anfetaminas, cuando se utilizan para mantener el nivel de rendimiento durante la carencia de sueño, solo posponen los efectos de la pérdida de sueño.

El sueño tiene una función restauradora y es indispensable para el funcionamiento mental. La falta y la perturbación del sueño pueden reducir el estado de alerta y la atención. Cuando se reconoce este fenómeno, el estado de alerta y la atención pueden restaurarse, por lo menos parcialmente, mediante la aplicación de un esfuerzo adicional. La importancia de este fenómeno para la seguridad es obvia.

La solución del problema que constituye la perturbación o falta de sueño incluye:

- establecer los horarios de servicio del personal considerando debidamente los ritmos circadianos y la fatiga resultantes de la falta y trastorno del sueño;
- adaptar la dieta comprendiendo la importancia de las horas de comida y adoptar otras medidas en relación con la luz o la oscuridad, los horarios de descanso y de actividad y la interacción social;
- reconocer el efecto negativo a largo plazo de las drogas (incluso de la cafeína y del alcohol);
- hacer lo más propicio posible el ambiente para dormir; y
- aprender técnicas de relajamiento.

LA SALUD Y EL DESEMPEÑO

Ciertas condiciones patológicas – malestares gastrointestinales, ataques cardíacos, etc. - han causado repentinamente la incapacitación del personal y en algunos raros casos han contribuido a provocar accidentes. Aunque la incapacitación total suele ser detectada rápidamente por otros miembros del personal, una disminución de la capacidad o incapacitación parcial - producidas por la fatiga, el estrés, el sueño, trastornos de los ritmos, el uso de medicamentos, ciertas dolencias menores pueden pasar inadvertidas, aun para la propia persona afectada.

Aunque no se dispone de pruebas concluyentes, la aptitud física puede tener una relación directa con el desempeño y la salud. Un mejor estado físico reduce la tensión y la ansiedad y aumenta el amor propio. Tiene efectos favorables en las emociones, lo cual afecta la motivación, y se cree que aumenta la resistencia a la fatiga. Entre los factores que ejercen influencia notoria sobre la aptitud psicofísica cabe señalar la dieta, el ejercicio, los niveles de estrés y el consumo de tabaco, alcohol o drogas.

El estrés

El estrés puede manifestarse en muchas ocupaciones, y el ambiente aeronáutico es especialmente rico en factores potenciales de tensión. Es de especial interés el efecto del estrés

en el comportamiento. En los primeros tiempos de la aviación, los factores de tensión psíquica eran provocados por el entorno físico: el ruido, la vibración, la temperatura, la humedad, las fuerzas de aceleración, etc., y eran de carácter esencialmente fisiológico. En la actualidad, algunos de ellos han sido sustituidos por nuevas fuentes de estrés: los periodos irregulares de trabajo y de descanso y la correspondiente alteración de los ritmos circadianos en los vuelos de larga distancia, irregulares o nocturnos.

El estrés se relaciona también con hechos de la vida, tales como la separación familiar y con situaciones como los periódicos exámenes médicos y de idoneidad. Aun los hechos positivos de la vida, como un matrimonio o el nacimiento de un hijo pueden producir estrés en la existencia ordinaria. Del mismo modo, en situaciones en que el recargo de trabajo mental es muy elevado, puede aparecer el estrés mental. Cada persona responde en forma diferente al estrés.

LA APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE LOS FACTORES HUMANOS EN LAS OPERACIONES DE AVIACIÓN

El control de los errores humanos

Para refrenar y controlar el error humano, debemos entender primeramente su carácter. Existen conceptos básicos correspondientes a la naturaleza del error humano: los orígenes de los errores pueden ser fundamentalmente diferentes; las consecuencias de errores similares también pueden ser muy diferentes. Aunque algunos errores se deben al descuido, la negligencia o la falta de criterio, otros pueden producirse debido a defectos de diseño del instrumental o ser resultado de la reacción normal de una persona ante una situación concreta. Es probable que esta última clase de error se repita y cabe prever que así ocurra.

Los errores en las interfaces del modelo SHELL

Cada una de las interfaces del modelo SHELL tiene un potencial de error cuando existe desajuste entre sus componentes. Por ejemplo:

- La interfaz entre el elemento humano y el equipo (ser humano y máquina) es una fuente frecuente de error: los equipos mal ubicados o que carecen de codificación adecuada provocan desajustes en esta interfaz.
- En la interfaz elemento humano-soporte lógico, pueden producirse errores al buscar información vital, debido a que la documentación y las cartas son confusas, engañosas o excesivamente recargadas de elementos.
- Los errores correspondientes a la interfaz elemento humano-ambiente se originan en los factores ambientales (el ruido, el calor, la luz y la vibración), y en la alteración de los ritmos biológicos, resultante de patrones irregulares de trabajo y de sueño.
- En la interfaz elemento humano-elemento humano, el enfoque reside en la interacción entre personas, dado que este proceso afecta la eficiencia de las personas. Esta interacción incluye también la relación jefe - empleado, y los defectos en esta interfaz reducen la eficiencia operacional y son causa de equivocaciones y errores.

El tratamiento de la información

Antes de que una persona pueda reaccionar ante una información debe primero sentirla; allí hay una posibilidad de error, ya que los sistemas sensoriales funcionan dentro de una estrecha gama. Una vez captada la información, esta se dirige al cerebro, órgano en el cual es procesada, sacándose luego una conclusión acerca de la naturaleza y significado del mensaje recibido. Esta actividad interpretativa se denomina percepción y es terreno fértil para cometer errores. La expectativa, la experiencia, la actitud, la motivación y la excitación tienen una clara influencia en la percepción y todas ellas constituyen posibles fuentes de errores.

Después de haberse sacado conclusiones acerca del significado de un mensaje, comienza la toma de decisiones. Muchos factores pueden conducir a decisiones erróneas: la instrucción o la experiencia anterior; consideraciones emocionales o comerciales; la fatiga, la medicación, la motivación y trastornos físicos o psicológicos. La adopción o no adopción de medidas sigue a la decisión. Esta es otra etapa con potencial para cometer errores, dado que si el equipo está diseñado en forma tal que pueda hacerse funcionar incorrectamente, tarde o temprano así se hará. Una vez tomadas las medidas, comienza a trabajar un mecanismo de retroalimentación. Las deficiencias en este mecanismo también pueden ocasionar errores.

Como controlar los errores humanos

El control de los errores humanos exige dos enfoques diferentes. En primer lugar, es necesario reducir a un mínimo el que se cometan errores, asegurándose de que el personal posea elevados niveles de competencia, suministrando listas de verificación, procedimientos, manuales, mapas, cartas, etc., y reduciendo el ruido, la vibración, los extremos de temperatura y otras condiciones causantes de estrés. Los programas de instrucción que tengan por objeto aumentar la cooperación y la comunicación entre los miembros del lugar de trabajo reducirán el número de errores (la supresión total de los errores humanos constituye un objetivo difícil, ya que el error es parte normal del comportamiento humano). El segundo medio para controlar los errores humanos es reducir las consecuencias de los errores restantes mediante la supervisión mutua y cooperación del personal. El diseño de equipos que permitan enmendar los errores y los equipos que pueden supervisar o complementar y apoyar el desempeño humano contribuye también a limitar los errores o sus consecuencias.

La personalidad y las actitudes

Los rasgos de personalidad y las actitudes ejercen influencia en la forma en que nos conducimos en la vida diaria, en nuestra casa y en el trabajo. Los rasgos de personalidad son innatos o se adquieren durante las primeras etapas de la vida. Son características arraigadas que definen a una persona, y son muy estables y resistentes al cambio. Rasgos tales como la agresividad, la ambición y el carácter dominante pueden considerarse reflejos de la personalidad.

Las actitudes son tendencias o predisposiciones adquiridas y duraderas, más o menos previsibles, para responder favorable o desfavorablemente ante personas, organizaciones, decisiones, etc. La actitud es una predisposición a responder en cierta forma; la respuesta es el comportamiento propiamente dicho. Se cree que las actitudes nos proporcionan una especie de organización cognoscitiva del mundo en el cual vivimos, permitiéndonos tomar decisiones rápidas acerca de que debemos hacer cuando confrontamos ciertas situaciones.

Se han producido accidentes por el comportamiento inadecuado de personas que tenían la capacidad de desempeñarse eficientemente y sin embargo no lo hicieron así. Esto indica la necesidad de que se investiguen más las características de personalidad deseables e indeseables en las personas y la importancia de una evaluación efectiva de la personalidad durante la selección de personal. Si se han citado como causa de accidentes e incidentes las diferencias de

personalidad o de actitud, deberíamos entonces tratar de influir en el mayor grado posible sobre las actitudes mediante el adiestramiento.

La diferencia entre la personalidad y las actitudes es pertinente, ya que no es realista esperar que se logre un cambio de personalidad mediante la instrucción ordinaria o en la formación para la gestión. El proceso inicial de admisión y selección es el lugar y el momento para tomar las medidas apropiadas. En cambio, las actitudes son más susceptibles de modificarse a través de la instrucción. La eficacia de la instrucción depende de la firmeza de la actitud o actitudes que se deben modificar. Con este fin, algunos Estados han demostrado los beneficios que representan para la seguridad los programas destinados a mejorar los procedimientos de toma de decisiones del personal identificando los esquemas de pensamiento peligrosos. Modificar las actitudes o los patrones de comportamiento mediante la persuasión también tiene una pertinencia directa para la seguridad y la eficiencia. Los avisos y anuncios al personal son ejemplos de persuasión.

Comunicación

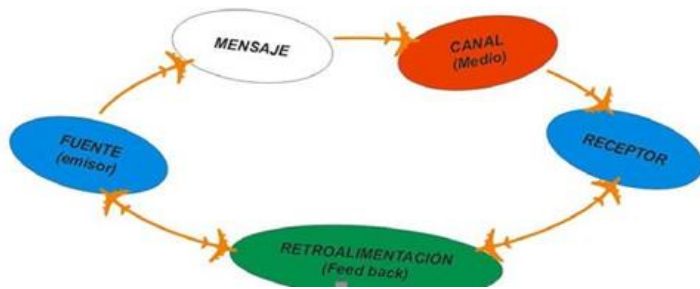
Una comunicación eficaz, que comprende toda transferencia de información, es indispensable para garantizar actividades sin riesgos. El mensaje puede ser transmitido oralmente, por escrito, mediante diversos símbolos y representaciones gráficas (p. ej. equipos, pantallas de presentación visual, mapas) o por medios no verbales, como los gestos y el lenguaje corporal. La calidad y eficacia de la comunicación están determinadas por su inteligibilidad: el grado en que el mensaje que se pretende transmitir es comprendido por el receptor.

El técnico del Servicio de Información Aeronáutica es parte importante del Centro de Información Aeronáutica, y por lo tanto recibe y disemina la información manteniendo la interfaz con el personal de operaciones de vuelo, miembros de la tripulación, dependencias y demás usuarios de la Documentación Integrada de Información Aeronáutica.

De acuerdo a lo expresado anteriormente, para que exista una buena comunicación, deben existir los siguientes elementos:

- **Fuente (emisor):** debe tener habilidades comunicativas y buen nivel de conocimiento de lo que quiere transmitir.
- **Mensaje:** expresando fielmente lo que se quiere transmitir y en forma concreta.
- **Canal (medio):** generalmente el ser humano utiliza los sentidos para comunicarse y cuando mayor número de ellos utilice, más eficaz será la comunicación.
- **Receptor:** al igual que el emisor debe tener habilidades comunicativas y buen nivel de conocimiento de lo que quiere recibir.
- **Retroalimentación (Feed back):** con lo cual confirmamos el nivel de entendimiento del mensaje que tuvo el receptor y la efectividad de nuestra propia comunicación.

Gráficamente tendríamos de la siguiente manera:



Existen varios riesgos que reducen la calidad de las comunicaciones:

- las fallas durante el proceso de transmisión (p. ej., cuando se envían mensajes confusos o ambiguos, o por problemas de idiomas);
- las dificultades provocadas por el medio de transmisión (p. ej., los ruidos de fondo o la distorsión de la información);
- las fallas durante la recepción (p. ej., cuando se espera recibir otro mensaje, cuando se interpreta mal el mensaje captado, o incluso cuando se desestima);
- las fallas debidas a la interferencia entre los niveles racional y emocional de la comunicación (p. ej., discusiones);
- los problemas físicos al escuchar o al hablar (p.ej. cuando se experimentan trastornos auditivos);
- el empleo del Ingles con personas que no son de habla inglesa; y
- la codificación y decodificación, el ruido.

La motivación

La motivación refleja la diferencia entre lo que una persona puede hacer y lo que realmente hará y es lo que impulsa o induce a una persona a comportarse de una manera determinada. Por supuesto, cada persona es diferente y está impulsada por diversas fuerzas motivadoras. Aun cuando la selección, la instrucción y la verificación aseguran la capacidad para ejecutar una tarea, es la motivación lo que determina si una persona hará tal cosa en una situación dada.

Existe una relación entre la expectativa y la recompensa como motivadores, dado que la utilidad de una recompensa y la probabilidad subjetiva de lograrla determinan el nivel de esfuerzo que se aplicara para conseguir la recompensa. Este esfuerzo debe estar acompañado de las pericias apropiadas. Es importante que los buenos ejecutantes se den cuenta de que se encuentran en mejor posición que los malos ejecutantes para lograr una recompensa, ya que de no ser así la motivación puede verse reducida. La satisfacción en el trabajo motiva a las personas para superar su rendimiento.

El modificar el comportamiento y el desempeño mediante recompensas se denomina **refuerzo positivo**; el desalentar un comportamiento indeseable utilizando sanciones o castigos se

denomina **refuerzo negativo**. Aun cuando el refuerzo positivo puede ser más eficaz para mejorar el desempeño, ambos deben encontrarse a disposición del superior. Cabe esperar diferentes reacciones de diferentes personas, en relación con los refuerzos positivos y negativos. Debe tenerse cuidado de no producir un efecto contrario al que se desea.

Documentación

Las deficiencias en la documentación del lugar de trabajo tienen un doble impacto: existe un aspecto monetario, vinculado con el mayor tiempo o la imposibilidad de ejecutar una tarea determinada, y existe igualmente un aspecto de seguridad. Con referencia a la documentación algunos aspectos básicos exigen llevar a un grado óptimo los factores humanos:

- a) el lenguaje escrito, que entraña no solo el vocabulario y la gramática, sino también la forma en que se utilizan;
- b) la tipografía, incluso la forma de las letras y su impresión, así como la disposición del texto, tienen una repercusión importante sobre la comprensión de los textos escritos;
- c) el uso de diagramas fotográficos, cartas o tablas en vez de textos descriptivos es ventajoso para facilitar la comprensión y mantener el interés. El uso de colores en las ilustraciones reduce el esfuerzo de discernimiento y tiene un efecto motivador;
- d) debe considerarse el ambiente de trabajo en el cual se utilizara el documento cuando se determina el tamaño de los caracteres y de la pagina (p. ej., un plano de aeropuerto muy pequeño puede inducir a errores durante el rodaje).

Diseño del puesto de trabajo

Para fines de diseño, el puesto de trabajo debe considerarse como un sistema, y no como un conjunto de aspectos o sistemas específicos, tales como el hidráulico, el eléctrico o el de presionización. Deben aplicarse conocimientos expertos para ajustar las características de dichos sistemas a las del ser humano, con la debida consideración al trabajo que ha de ejecutarse. Es importante el ajuste debido de las zonas de trabajo a las dimensiones y características humanas.

ASPECTOS RELATIVOS A LOS FACTORES HUMANOS EN EL DESARROLLO E IMPLANTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES, NAVEGACIÓN Y VIGILANCIA/GESTIÓN DEL TRÁNSITO AÉREO (CNS/ATM)

Antecedentes

La Decima conferencia de navegación aérea (Montreal, septiembre de 1991) "reconoció la importancia de los factores humanos en el diseño de los sistemas ATC automatizados y en la transición correspondiente". También "observo que la automatización presentaba grandes posibilidades para reducir los errores humanos". Recomendó, asimismo, que "en la labor que lleve a cabo la OACI en la esfera de los factores humanos, de conformidad con la Resolución A26-9 de la Asamblea de la OACI, se incluya, entre otras tareas, la realización de estudios relacionados con la utilización y la transición a los futuros sistemas CNS/ATM".

La Comisión de Aeronavegación de la OACI, siguiendo la recomendación de la Conferencia, acordó que se revisara el plan de acción del Programa sobre la seguridad de los vuelos y los

factores humanos de manera que incluyera trabajos relativos a consideraciones en materia de factores humanos en los futuros sistemas de aviación y que se hiciera hincapié en los aspectos relacionados con la interfaz ser humano-máquina en la esfera CNS/ATM.

Basándose en la decisión de la Comisión, la Secretaría estableció contactos con especialistas de determinados Estados y organismos internacionales y examinó estudios recientes y en curso a fin de determinar las cuestiones relativas a los factores humanos que tienen pertinencia en la esfera de los sistemas CNS/ATM de la OACI. El estudio identificó diversas aéreas en las que la aplicación de los conocimientos y experiencia en materia de factores humanos aumentaría la seguridad y la eficacia de los futuros sistemas CNS/ATM de la OACI:

Automatización y tecnología de avanzada. Un aspecto fundamental del concepto CNS/ATM de la OACI es la aplicación de la tecnología más moderna y la automatización. La experiencia demuestra que es indispensable tener presente el elemento humano durante la fase de diseño, de manera que el sistema resultante capitalice las ventajas correspondientes de la intervención humana y de la tecnología basada en el empleo de computadoras. Se alude a este enfoque como una automatización "concebida en función del ser humano".

Instrucción, selección y otorgamiento de licencias del personal operacional. La sola adquisición de la pericia técnica no garantizara un desempeño en el trabajo que sea altamente fiable y eficaz. Ya se cuenta con programas de instrucción en materia de gestión de los recursos, formulados especialmente para responder a las necesidades del ATM, denominados gestión de los recursos en equipo (TRM) (Team Recourses Management). Aun cuando ya existen algunos programas que han tenido éxito para responder a las necesidades en materia de instrucción de factores humanos para el personal operacional, es evidente que hay mucho por hacer todavía y que sería conveniente una acción más intensa. Los criterios de selección que van más allá de las consideraciones de la aptitud técnica del candidato y que incluyen características sociales y personales relacionadas con el desempeño en equipo, constituyen también aspectos importantes. Los requisitos en materia de otorgamiento de licencias que reflejen estos nuevos objetivos de instrucción proporcionarían el encuadre que permita alcanzarlos.

El Comité FANS

En 1983, teniendo en cuenta los pronósticos de crecimiento del tránsito y advirtiendo que se vislumbraban en el horizonte nuevas tecnologías, el Consejo de la OACI estudió las futuras necesidades de la comunidad aeronáutica civil. El Consejo determinó que era necesario proceder a un minucioso análisis y reevaluación de los procedimientos y tecnologías que hasta entonces se habían utilizado con éxito en la aviación civil internacional durante muchos años. Al reconocer además que los sistemas y procedimientos en que se sustentaba la aviación civil habían alcanzado sus límites, el Consejo adoptó una decisión importante en un momento crucial y creó el Comité especial sobre sistemas de navegación aérea del futuro (FANS). Se encomendó al Comité FANS la tarea de estudiar, identificar y evaluar nuevas tecnologías y de formular recomendaciones para el desarrollo futuro de la navegación aérea en la aviación civil por un periodo de unos 25 años.

LA TECNOLOGÍA CONCEBIDA EN FUNCIÓN DEL SER HUMANO

Concepto de la automatización concebida en función del ser humano

La "automatización concebida en función del ser humano" es un concepto relacionado con la elaboración de sistemas que significa *automatización concebida de manera que funcione*

cooperando con los operadores humanos para dar cumplimiento a los objetivos establecidos. Su enfoque entraña un conjunto de sistemas automáticos destinados a asistir a los operadores humanos (administradores), a cumplir con sus cometidos. La calidad y la eficacia del sistema de automatización centrado en el ser humano están en función del grado en que el sistema combinado aprovecha las cualidades y compensa las debilidades de ambos elementos. Para comprender mejor el concepto de automatización concebida en función del ser humano, podemos definir un sistema robotizado totalmente autónomo como no concebido en función del ser humano; en un sistema de ese tipo, el ser humano no desempeña un papel crítico una vez que ha sido diseñado y se ha puesto en funcionamiento. A la inversa, la automatización no desempeña ningún papel en un sistema totalmente manual.

Ninguno de los complejos sistemas ser humano- máquina actuales se sitúa en uno u otro extremo. Casi todos los sistemas proporcionan dispositivos automáticos para ayudar al ser humano a realizar un conjunto definido de tareas y reservan ciertas funciones exclusivamente al operador humano. Nadie prevé que los futuros sistemas avanzados de aviación sean totalmente robotizados y que desechen el elemento humano en su funcionamiento. Tampoco se prevé que se hagan funcionar sin ayuda de algún tipo de automatización. En realidad, incluso hoy, la responsabilidad del funcionamiento seguro del sistema aeronáutico incumbe tanto al ser humano como a la máquina.

Como se explico en el capítulo anterior, el futuro crecimiento del sistema aeronáutico exigirá un mayor grado de automatización. El adelanto tecnológico en el sistema podrá basarse en el modo en que manejemos la información/datos aeronáuticos y utilicemos la automatización. La tecnología de la información/datos aeronáuticos en los sistemas aeronáuticos fomentara cambios profundos en esferas tales como las comunicaciones (aire/tierra, aire/aire, tierra/tierra).

La tendencia hacia una mayor información/datos aeronáuticos, una mayor complejidad y un funcionamiento más automatizado ofrece la posibilidad de aislar a los operadores humanos del funcionamiento y disminuir su percepción del estado y de la situación del sistema que se está haciendo funcionar. Hay muchas razones, por las que los proyectistas de sistemas deberían tener en cuenta los factores humanos desde el principio mismo del proceso de diseño.

El objetivo de la automatización concebida en función del ser humano es influir en el diseño de los sistemas ser humano - máquina en la tecnología avanzada, para que las capacidades y limitaciones humanas se tengan en cuenta desde las etapas iniciales del proceso de diseño y se verifiquen en el diseño definitivo. Un diseño que no considere las cuestiones relativas a los factores humanos no puede dar por resultado un sistema óptimo que aumente la productividad, la seguridad y la satisfacción en el empleo. La falta de reconocimiento de las ventajas extraordinarias que se derivan de la automatización concebida en función del ser humano puede ser acaso la principal razón por la cual rara vez la tecnología de factores humanos se ha aplicado desde el comienzo o se ha integrado regularmente en el proceso de diseño de sistemas. Sin embargo, la inversión inicial en factores humanos reserva varias recompensas muy importantes.

La tecnología (automatización) concebida en función del ser humano evita desastres y accidentes

El error humano o del operador ha sido identificado como el principal factor causante de accidentes e incidentes, si bien es discutible. Hablando de sistemas en general, de un 60% a un 80% de los accidentes se atribuyen a un error del operador. Sin embargo, los resultados de investigaciones recientes arrojan dudas sobre esas cifras, demostrando que en la mayoría de los casos en que se dice que los operadores humanos fueron el principal factor causante del accidente, los mismos afrontaban interacciones tecnológicas inesperadas e inusualmente opacas que habían ocasionado fallas imprevistas. El análisis de varios accidentes de alta tecnología, atribuidos inicialmente a error del operador, revela que la mayoría de los errores

humanos identificados es inducida por otros factores. Por lo tanto, es indispensable diferenciar los errores humanos inducidos por el sistema de los que son verdaderamente consecuencia de un desempeño deficiente del operador. Entre los factores que contribuyen a que se produzca un accidente se cuentan el mal diseño de los equipos materiales, la mala integración del ser humano con la máquina, la capacitación insuficiente, los malos métodos de gestión y la mala concepción de la organización. Si se incluyen en el cuadro más amplio los seres humanos que participan en el diseño, la fabricación, la instrucción y la gestión, podría sostenerse que el "error humano" desempeña algún papel en casi todo accidente o incidente. Sin embargo, a los fines del análisis, es necesario distinguir entre condiciones latentes (atribuibles a los proyectistas, fabricantes, instructores y gestores) y fallas activas (de los operadores), y es importante advertir que las fallas activas que provocan resultados (casi) catastróficos solo pueden producirse por una serie de fallas latentes que ya estaban presentes en el sistema.

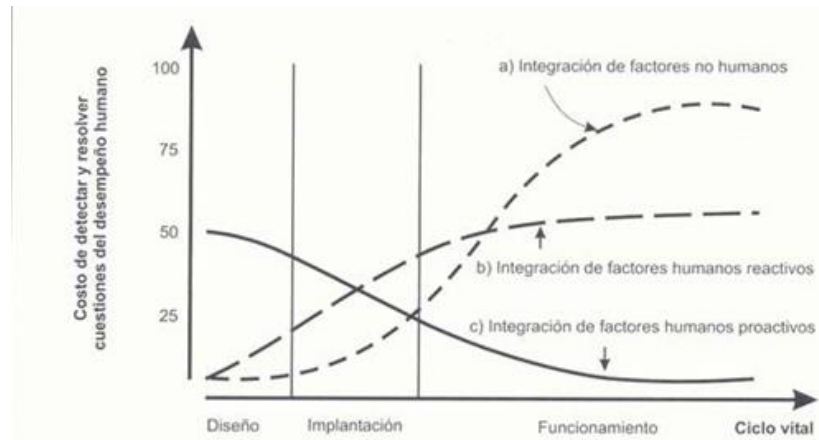
Nunca podrá exagerarse el costo que representan las pérdidas de vidas y las lesiones sufridas por la falta de la debida consideración de los factores humanos durante el diseño y la fabricación. Algunas investigaciones han demostrado claramente que los problemas suscitados por la tecnología no se eliminarán con más tecnología, especialmente en sistemas muy avanzados, donde se espera que los operadores humanos asuman plena responsabilidad de sus propios actos y de las acciones de los sistemas automáticos.

La mayoría de nosotros decide considerar que el papel del ser humano en nuestra compleja sociedad tecnológica constituye un término menor de la ecuación. Aceptamos un papel secundario en el mundo moderno y dejamos la conducción a las máquinas, a los sistemas. Repetidamente, al borde de la catástrofe, buscamos soluciones para "corregirla", no para "corregirnos". Pero ninguna máquina es más fiable que los seres humanos que la construyeron y la hacen funcionar. De modo que estamos atascados. Atascados aquí en este mundo de alto riesgo con nuestra propia especie de baja tecnología, nos guste o no. Ningún sistema mecánico podrá nunca ser más perfecto que la suma de sus factores humanos.

La tecnología (automatización) concebida en función del ser humano, al integrar en el proceso de diseño de sistemas consideraciones relativas a los factores humanos, puede resolver cuestiones relacionadas con el error humano en sistemas automatizados muy avanzados, adelantándose así a futuros desastres y accidentes.

La tecnología (automatización) concebida en función del ser humano reduce los costos

Los costos relacionados con la introducción de la nueva tecnología han sido determinados principalmente durante la fase de exploración del concepto en el proceso de desarrollo del sistema. Para mantener bajos los costos, a menudo se eliminan de las consideraciones iniciales del diseño las consideraciones relacionadas con los factores humanos (con la esperanza de que la formación del personal colmara las deficiencias del diseño). El resultado ha sido la multiplicación de los costos posteriores (capacitación, funcionamiento y mantenimiento) en un nivel muy superior al de las economías iniciales. Los cambios para garantizar que el personal capacitado pueda hacer funcionar el sistema después de haber establecido el diseño del mismo son más difíciles y más costosos. Esto se ilustra en el siguiente gráfico.



Hay un costo inicial relacionado con la tecnología (automatización) concebida en función del ser humano en las etapas conceptuales, pero es insignificante si se compara con los costos de explotación cotidianos que provoca un diseño inadecuado.

Hay una "ley inexorable" que no debería ignorarse nunca. Considerar debidamente los aspectos de los factores humanos en la etapa de diseño y certificación es costosa, pero ese costo se paga una sola vez. Si el operador debe efectuar ajustes por el diseño incorrecto en su programa de formación, el precio tendrá que pagarse todos los días. Y lo que es peor, nunca podremos estar seguros de que cuando la suerte esté echada tendremos la respuesta correcta.

Además de los costos innecesarios relacionados con las fallas obvias en la interfaz de la máquina con el ser humano, hay un costo aún mayor relacionado con el deterioro diario del desempeño general del sistema. Debido a una consideración insuficiente del papel del ser humano durante el diseño conceptual, a menudo los sistemas no funcionan como se esperaba.

Los sistemas que emplean una tecnología concebida en función del ser humano e integran en su diseño las capacidades, limitaciones y expectativas del ser humano, son más fáciles de aprender y de utilizar, reduciendo así considerablemente la inversión última en costos de formación y de funcionamiento. El diseño de la automatización centrado en el ser humano constituye una inversión por única vez; se convierte en parte permanente del sistema general. En cambio, la inversión en personal, mano de obra y formación son gastos recurrentes. De modo que incluir consideraciones sobre los factores humanos en el diseño inicial de un sistema es un medio seguro de evitar costos posteriores.

En general, la falta de consideraciones sobre factores humanos en el diseño y el funcionamiento de los sistemas ocasionarán inevitablemente ineficiencias, problemas, accidentes y la pérdida de bienes y de vidas.

La capacidad del ser humano para reconocer y definir lo esperado, afrontar lo inesperado, innovar y razonar por analogía cuando la experiencia previa no cubre un problema nuevo, es lo que ha hecho que el sistema aeronáutico sea tan robusto, porque todavía quedan muchas circunstancias que no son ni directamente controlables ni totalmente previsibles. Cada uno de esos atributos exclusivamente humanos, además de las consideraciones subculturales, es una razón apremiante para que el ser humano conserve su posición central en el diseño de la automatización apropiada para el sistema aeronáutico avanzado. La automatización apropiada es la que se adapta a la población de usuarios y al ambiente en que se emplea. Par ella, debería estar ceñida dentro de ciertos principios: *Los principios de la automatización concebida en función del ser humano.*

PRINCIPIOS DE LA AUTOMATIZACIÓN CONCEBIDA EN FUNCIÓN DEL SER HUMANO

Ya se ha dicho que la automatización moderna puede cumplir casi todas las funciones previstas en el sistema aeronáutico. También hemos mostrado que el ser humano, principalmente en pro de la seguridad y de las ventajas económicas, debería seguir siendo la figura central en su diseño. Las cuestiones relativas a los principios de la automatización tendrán que guardar relación, necesariamente, con las respectivas funciones del ser humano y de la máquina. Se acepta que los seres humanos mantendrán la responsabilidad por la seguridad del sistema. Por esta simple pero muy importante razón, también tendrán que conservar el pleno mando de los sistemas automáticos que están bajo su responsabilidad.

Mientras se exija que los operadores humanos tengan la plena responsabilidad del funcionamiento seguro del sistema, los instrumentos (la automatización o de otro tipo) destinados a ayudarlos a asumir su responsabilidad deberían estar diseñados teniendo en cuenta al operador humano. A estos efectos, los encargados de establecer las normas, los proyectistas, los explotadores y los usuarios deberían aplicar pautas o principios para el diseño y la utilización de los sistemas automáticos destinados a ser empleados en el sistema, de modo de asistir a los operadores humanos en el cumplimiento satisfactorio de sus responsabilidades.

La aplicación de estos principios es esencial en los procesos preliminares y finales del diseño de sistemas automatizados con tecnologías muy avanzadas. El nudo de la cuestión es que *la automatización se emplee para ayudar a los operadores humanos a asumir sus responsabilidades de la manera más segura, eficiente, efectiva y económica*. Nunca debería ser de otro modo. A las preguntas planteadas en los capítulos anteriores acerca de cuánta autoridad debería tener la automatización, como interactuará con el operador humano y qué papel debería reservarse al ser humano, solo puede responderse aplicando una serie de principios durante el diseño, la elaboración y el funcionamiento de un sistema automatizado.

El ser humano tiene la responsabilidad fundamental en la seguridad del sistema aeronáutico. La historia nos ha demostrado repetidamente que en un sistema complejo, por más automatizado que este, es el ser humano quien tiene la última decisión en una cuestión crítica y es la última línea de defensa en caso de colapso del sistema. La importancia de las personas en una sociedad tecnológica se refleja además en el concepto de *personas esenciales*. De modo que al debatir la automatización en el sistema aeronáutico, habría que tener siempre presente que para que las personas funcionen con eficiencia, eficacia y seguridad, las consideraciones de factores humanos deben integrarse en el sistema desde el principio en la etapa conceptual y no agregarse más tarde como parte de una decisión para subsanar deficiencias.

El operador humano debe estar al mando. Para que el ser humano asuma la responsabilidad en última instancia de la seguridad del sistema, debería conferírsele una autoridad esencialmente ilimitada, para permitirle cumplir con esa responsabilidad definitiva. El principio fundamental del concepto de automatización concebida en función del ser humano es que la automatización de los sistemas de aviación, existe para asistir a los operadores humanos en el desempeño de sus responsabilidades, como ya se ha dicho. Si no se observa estrictamente este principio y si las decisiones son adoptadas por los sistemas automáticos y no por los operadores humanos, pueden surgir cuestiones complicadas e inevitables de responsabilidad. Esto conducirá obviamente a considerar la parte de responsabilidad que tiene el operador humano, lo cual afectará negativamente, a su vez, el desempeño del ser humano. De ese modo, una cuestión de responsabilidad se convierte en una cuestión de factores humanos por omisión. Los operadores humanos nunca deberían ser considerados responsables por fallas o decisiones erróneas, salvo que tengan pleno control y mando del sistema. Las razones son muy sencillas: como cualquier otra máquina, la automatización está sujeta a fallas. Además, los dispositivos digitales fallan de modo imprevisible y producen manifestaciones de fallas imprevisibles. Entre las responsabilidades del ser humano está la de detectar esas fallas, corregir sus manifestaciones y continuar la

operación de manera segura hasta que los sistemas automáticos puedan volver a cumplir sus funciones normales. Como la automatización no puede ser a prueba de fallas, tampoco debe ser diseñada de modo tal que pueda afectar el ejercicio de las responsabilidades del operador humano.

Para ejercer el mando eficazmente, el operador humano debe participar. Para asumir la responsabilidad definitiva y mantenerse al mando de la situación, los operadores humanos deben participar en la operación. Deben desempeñar un papel activo, ya sea el de controlar activamente el sistema o el de administrar los recursos humanos o mecánicos a los que se ha delegado el control. Si los seres humanos no participan activamente, es probable que sean menos eficientes al reaccionar ante situaciones críticas del sistema. La automatización del sistema aeronáutico centrado en el ser humano debe proyectarse y hacerse funcionar de modo que no permita que el operador humano quede demasiado alejado de los detalles operacionales, para lo cual es necesario que el operador realice tareas importantes y pertinentes durante todas las operaciones.

Para poder participar, el ser humano debe estar informado. A falta de información acerca del desarrollo de las operaciones, la participación resulta imprevisible y las decisiones, si se adoptan, resultan aleatorias. Para mantener una participación que tenga sentido, el operador humano debe contar con una corriente continua de información esencial con respecto al estado y la marcha del sistema controlado y de la automatización que lo controla. La información debe ser compatible con las responsabilidades del operador humano; debe incluir todos los datos necesarios para apoyar la participación del operador humano en el sistema. Los operadores humanos deben estar informados de manera destacada y en el nivel necesario para que puedan cumplir con sus responsabilidades. Los operadores humanos deben disponer de información suficiente para poder mantener la percepción del estado y de la situación del sistema. No obstante, debe tenerse cuidado de no recargarlos con más información que la necesaria.

Las funciones deben automatizarse únicamente si hay una buena razón. Cada vez es mayor la tentación de incorporar algún modelo destacado de nueva tecnología en un proyecto solo porque puede hacerse y no porque sea necesario. En otras palabras, el diseño puede estar dictado para la viabilidad tecnológica más que por la necesidad de los usuarios que deben utilizar y mantener los productos de tales diseños. La automatización de las funciones sin más motivo que el hecho de que sea tecnológicamente posible puede tener por consecuencia la imposibilidad del usuario de emplearla eficazmente en beneficio de todo el sistema. La cuestión aquí debería ser "no si una función puede automatizarse, sino si es necesario automatizarla, teniendo en cuenta las diversas cuestiones de factores humanos que pueden plantearse".

El ser humano debe poder supervisar el sistema automatizado. La posibilidad de supervisar los sistemas automatizados es necesaria para permitir al operador humano mantenerse al tanto de la situación y porque los sistemas automatizados son falibles. El ser humano solo puede ejercer una supervisión eficaz si se proporciona apoyo cognitivo en el puesto de control. El apoyo cognitivo se refiere a la necesidad humana de contar con información disponible para tomar las medidas o decisiones que se requieran. En los sistemas automatizados de la aviación, un elemento de información indispensable es lo que se refiere a la automatización. El operador humano debe poder determinar, basándose en la información disponible, que el desempeño de la automatización es, y probablemente seguirá siendo, apropiado para la situación del sistema deseada. Hasta ahora, en la mayoría de los sistemas aeronáuticos solo se informa al operador si hay una discrepancia entre las unidades responsables de una función determinada o una falla de esas unidades suficiente para perturbar o impedir el desempeño de esa función. En tales casos, se da instrucciones al operador de que se haga cargo de dicha función. Para poder hacerlo sin demora, es necesario que el operador reciba información relativa a las operaciones en curso hasta ese momento, si estas no pueden deducirse del comportamiento del sistema controlado.

Los sistemas automatizados deben ser previsibles. El operador humano debe poder evaluar el desempeño de los sistemas automatizados comparándolo con un modelo interno basado en el

conocimiento del desempeño normal de los sistemas. Solo si los sistemas se comportan normalmente de una manera previsible podrá el operador humano detectar rápidamente las desviaciones con respecto al comportamiento normal y reconocer así las fallas en los sistemas automáticos. Al establecerlo, es importante que no solo se conozca el comportamiento nominal, sino también la gama de variantes admisibles en el comportamiento. Todo comportamiento imprevisto del sistema debe tratarse como anormal. Para reconocer un comportamiento así, el operador humano debe saber exactamente lo que puede esperar de la automatización cuando funciona correctamente.

Los sistemas automatizados deben poder supervisar también al operador humano. Los seres humanos, por supuesto, tampoco somos infalibles y las fallas pueden igualmente ser imprevisibles. Dado que los operadores humanos somos propensos a cometer errores, es necesario que la detección, el diagnóstico y la corrección de los errores sean partes integrantes de cualquier sistema de aviación automatizado. Por esta razón, es necesario supervisar continuamente el desempeño del ser humano tanto como el de la máquina. Debe proyectarse dentro del sistema una automatización de la supervisión capaz de objetar ciertas clases de acciones del operador que puedan comprometer potencialmente la seguridad.

Cada elemento del sistema debe tener conocimiento de las intenciones de los demás. En las operaciones muy automatizadas, un medio de mantener activamente involucrado al operador humano consiste en brindarle información relativa a la *intención* del sistema automatizado. Es decir, a partir de las decisiones que los sistemas automatizados han tomado o están por tomar en un momento determinado, cual podrá ser la situación en el futuro. Fundamentalmente, el sistema no solo debería identificar un problema potencial, sino también sugerir soluciones alternativas y mostrar las implicaciones de las medidas adoptadas. La supervisión mutua solo puede ser eficaz si el supervisor comprende lo que está tratando de hacer el operador del sistema supervisado. Para lograr las ventajas de una supervisión eficaz, deben ser conocidas las intenciones del operador humano o de los sistemas automatizados. La comunicación de las intenciones permite que todos los interesados actúen en colaboración para resolver todo problema que pueda surgir.

La automatización debe ser diseñada de modo que sea fácil de aprender y de utilizar. Uno de los principales objetivos de este capítulo es considerar cuanta automatización se necesita y por qué. Si los sistemas son lo bastante sencillos (y este debería ser siempre un objetivo del diseño), quizá no sea necesaria la automatización. Si las tareas no pueden simplificarse o si el factor tiempo es tan crítico que los seres humanos no pueden cumplirlas eficazmente, la automatización puede ser la solución. Aun en tal caso, una automatización simple permitirá interfaces simples y una mejor comprensión por el ser humano de los sistemas automatizados. Hasta la fecha, la automatización de sistemas no siempre ha sido diseñada para que los hagan funcionar en condiciones difíciles, en un ambiente desfavorable, operadores humanos abrumados por el exceso de trabajo, distraídos o de competencia inferior al término medio. Sin embargo, esas son precisamente las condiciones en que puede ser más necesaria la ayuda del sistema automático. La simplicidad, la claridad y el carácter intuitivo deben ser las piedras angulares del diseño de la automatización, ya que la convertirán en un instrumento mejor y más eficaz. Aunque la capacitación, estrictamente, no es materia propia de los proyectistas, debe tenerse en cuenta durante el diseño de los componentes de los sistemas CNS/ATM Y debería reflejar dicho diseño en la práctica. Un buen diseño de ingeniería teniendo en cuenta los factores humanos, se caracteriza por la ausencia de problemas en el uso de un sistema por los seres humanos y por lo tanto sus efectos son invisibles en el sistema operacional definitivo. Sus aportes se convierten en parte integrante de cada componente o subsistema y no pueden separarse fácilmente del funcionamiento general del sistema.

Al establecer las directrices básicas para los principios de la automatización concebida en función del ser humano, cabe señalar que no se ha tratado de abarcar los aspectos de ingeniería de los factores humanos. Sólo se ha tratado de elaborar una filosofía de automatización concebida en

función del ser humano. Al hacerlo, se espera fomentar un dialogo que hará avanzar hacia la meta general de promover un entorno aeronáutico seguro, ordenado y económico, integrando lo mejor del ser humano y de la máquina.

Los principios de la automatización concebida en función del ser humano están destinados a servir de guía para que cada vez que se proyecte e introduzca la automatización, pueda cotejarse con ese modelo, en vez de tener que volver a justificarla y defenderla.

PRINCIPIOS DE LA AUTOMATIZACION CONCEBIDA EN FUNCION DEL SER HUMANO

El ser humano tiene responsabilidad definitiva por la seguridad del sistema aeronáutico. Por lo tanto:

- El ser humano debe estar al mando.
- Para tener efectivamente el mando, el ser humano debe participar.
- Para participar, el ser humano debe estar informado.
- Las funciones sólo deben automatizarse si existe una buena razón para hacerlo.
- El ser humano debe poder supervisar el sistema automatizado.
- Por lo tanto, los sistemas automatizados deben ser previsibles.
- Los sistemas automatizados deben poder supervisar al operador humano.
- Cada elemento del sistema debe tener conocimiento de las intenciones de los demás.
- La automatización debe estar diseñada de modo que sea fácil de aprender y de utilizar.

CUALIDADES DE LA AUTOMATIZACION CONCEBIDA EN FUNCION DEL SER HUMANO

Se ha identificado al error humano como el principal factor causante de la mayoría de los accidentes de aviación. La percepción más generalizada en personas de toda condición es que el ser humano causante del error en esos accidentes es el "operador de primera línea", o dicho mas simplemente, el piloto, el controlador de tránsito aéreo, el técnico de mantenimiento de aeronaves, etc. Esta percepción, exacerbada por los medios de difusión y ampliamente aceptada por el público, ha ocasionado mucha angustia, porque oculta el hecho de que la evolución de la tecnología moderna ha hecho prácticamente imposible que un individuo - el operador de primera línea - provoque por si solo un accidente. En aquellos accidentes en que se ha determinado inicialmente un error del operador como factor causal, los investigadores pudieron demostrar que el operador solo había desencadenado una serie de fallas latentes, incrustadas desde tiempo atrás en el sistema, que no habían sido detectadas o habían sido ignoradas, por una u otra razón. En la tecnología moderna se ha erigido una línea de defensa que hace prácticamente imposible que una sola acción pueda causar un accidente sin precedentes, a menos que el sistema ya este debilitado por la eliminación de esas defensas. Se ha demostrado que las deficiencias de diseño, las limitaciones de la organización o la administración y muchas otras fallas latentes eran las causas fundamentales de muchos accidentes atribuidos a los operadores de primera línea, quienes en la mayoría de los casos no sobreviven a los accidentes para defender sus decisiones.

Se ha constatado que otros accidentes, también atribuidos a los operadores de primera línea, habían sido causados por la interacción de los seres humanos con sistemas automáticos (un

desajuste de los elementos humano y mecánico en el sistema). Los sistemas de automatización son hechos por seres humanos. Por ello pueden también contener errores no planificados desde el comienzo mismo de su concepción. Se ha comprobado que es errónea la creencia de que una mejor instrucción puede compensar las deficiencias no previstas en la etapa de diseño y elaboración. El aumento de los dispositivos y la introducción de una tecnología más compleja solo han logrado que las máquinas no puedan usarse porque no se habían incluido en el concepto básico consideraciones relativas a los factores humanos. Los investigadores y especialistas en factores humanos, los investigadores y analistas de accidentes, los especialistas en comportamiento humano y los expertos que estudian las interacciones ser humano-máquina coinciden en que haciendo que la automatización se conciba en función del ser humano se podrían resolver la mayoría de los problemas vinculados con el error humano. Aún más importante, creen que la automatización puede proyectarse y utilizarse de modo que el sistema en su totalidad, sea más resistente y tolerante a los errores humanos en el diseño, la implantación y la utilización de los sistemas. Esto implica que si la automatización debe ser un componente efectivo y valioso del sistema aeronáutico, debería poseer también varias cualidades o características. Al definir los atributos de la automatización concebida en función del ser humano, se espera que el sistema sea intrínseca y netamente útil para el operador humano, que, al fin y al cabo, es quien carga con la plena responsabilidad por la seguridad de dicho sistema, tanto humana como no humana. Al definir los atributos que debería poseer un sistema automático, el propósito, una vez más, es fomentar el dialogo sobre ese tema, haciendo avanzar así el funcionamiento ordenado y seguro de todo el sistema de transporte aéreo.

Al analizar los atributos de la automatización concebida en función del ser humano, debería quedar en claro que no son mutuamente excluyentes. Un sistema automático que posea algunas, e incluso muchas de esas cualidades, puede todavía no ser totalmente eficiente si se las considera aisladamente durante el diseño, porque varias están interrelacionadas. Como en cualquier empresa de ingeniería, es necesario encontrar una buena solución de compromiso entre los atributos. Para asegurarse de que se ha alcanzado una solución de compromiso eficaz, todo el sistema debe ser evaluado en funcionamiento real o simulado por diversos operadores humanos con diferentes niveles de pericia y experiencia. Esa verificación puede exigir mucho tiempo y ser costosa, y a menudo podría practicarse en una etapa avanzada de desarrollo del sistema; sin embargo, es el único medio de comprobar la seguridad y eficacia del concepto automatizado. De modo que la primera pauta en cuanto a los atributos de la automatización concebida en función del ser humano podría simplemente ser que la automatización concebida en función del ser humano debería poseer esas cualidades en la medida apropiada.

Muchos de esos atributos tienen, en cierto grado, un carácter bipolar, aunque en verdad no son opuestos, y si se insiste sobre ciertas cualidades tal vez sea necesario acentuar menos otras. Del modo sugerido, la automatización concebida en función del ser humano debe ser:

Responsable	<----->	Subordinada
Previsible	<----->	Adaptable
Comprensible	<----->	Flexible
Fiable	<----->	Informativa
Resistente al error	<----->	Tolerante del error

La automatización concebida en función del ser humano debe ser responsable. La automatización debe informar al operador humano acerca de sus acciones y poder explicarlas si se le pide. El ser humano al mando debe poder pedir y recibir una justificación de las decisiones adoptadas por el sistema automatizado. Esto constituye un problema especial en la aviación, ya que puede faltar tiempo para que el operador humano evalúe varias decisiones. En lo posible, la automatización debe prever el pedido del operador humano y proporcionar información anticipada o bien sus normas de funcionamiento en una circunstancia especial anunciada, que el operador

humano, debe entender cabalmente. Es especialmente importante que las explicaciones suministradas por la automatización se expresen en términos que tengan sentido para el operador humano; el nivel de abstracción de dichas explicaciones debe ser apropiado para la necesidad de explicación del operador humano. En este contexto, "responsable" significa obligado a brindar un análisis o explicación justificativa. El atributo bipolar de la responsabilidad es la subordinación. Debe tenerse mucho cuidado en asegurar que esto nunca pueda convertirse en insubordinación.

La automatización concebida en función del ser humano debe ser subordinada. Salvo en situaciones definidas de antemano, la automatización no debería nunca asumir el mando, y en tales situaciones sus decisiones deben poder revocarse fácilmente. La automatización, aunque es un instrumento importante, debe mantenerse subordinada al operador humano. Existen situaciones en las que se acepta que la automatización debería ejecutar tareas en forma autónoma y se prevé que en el sistema CNS/ATM se implementaran mas de esas tareas. A medida que la automatización se hace mas autosuficiente, capaz y compleja, será cada vez más difícil para los operadores humanos mantenerse al tanto de todas las decisiones que se están tomando en forma autónoma, y por lo tanto cada vez más difícil para ellos saber exactamente que está haciendo la automatización y por qué. Ese tipo de situación tendera a comprometer la autoridad de mando y la responsabilidad de los operadores humanos; mas importante aún, puede colocarlos en una posición de extrema desconfianza del sistema automático, lo cual podría comprometer la integridad de todo el sistema ser humano-máquina. Es importante hacer que resulten innecesarias preguntas tales como "[¿Que está haciendo?](#)" y "[¿Por qué está haciendo eso?](#)".

La automatización concebida en función del ser humano debe ser previsible. Algunos sucesos en los cuales la automatización no parecía haberse comportado de modo previsible han tenido en el pasado grandes repercusiones, debido en parte a la desconfianza intrínseca de los operadores humanos acerca de las cosas sobre las que no tienen control. Aquí también, el nivel de abstracción con que se explica la automatización o con el cual esta ofrece explicaciones es crítico para establecer o mantener la confianza en ella. La tercera pregunta que más frecuentemente se hacen los operadores humanos sobre la automatización es "[¿Que va a hacer ahora?](#)". Esta pregunta, como las dos anteriores, también debería llegar a ser innecesaria. A medida que la automatización se hace más adaptable e inteligente, adquirirá un repertorio más amplio de comportamientos en una variedad más amplia de circunstancias. Esto hará que su comportamiento resulte más difícil de comprender y de prever para los operadores humanos, aun cuando pueda estar funcionando de conformidad con sus especificaciones de diseño. Sera igualmente mas difícil para los operadores humanos detectar cuando no esté funcionando correctamente. La automatización avanzada debe ser diseñada de manera que sea y parezca previsible para sus operadores humanos y la diferencia entre el comportamiento defectuoso y el normal debe ser inmediatamente evidente para el operador humano.

La automatización concebida en función del ser humano debe ser adaptable. La automatización debería configurarse dentro de una amplia gama de preferencias y necesidades del operador. En cierto sentido, la adaptabilidad y la previsibilidad son términos opuestos, ya que un comportamiento muy adaptable tendera a ser difícil de predecir. A medida que la automatización se hace más adaptable e inteligente, adquirirá un repertorio más amplio de comportamientos en una variedad más amplia de circunstancias. Esto hará que su comportamiento sea más difícil de comprender y de prever para los operadores humanos, aun cuando pueda estar funcionando de conformidad con sus especificaciones de diseño. Sera igualmente más difícil para los operadores humanos detectar cuando no esté funcionando normalmente. Esto sugiere la necesidad de poner limitaciones a la adaptabilidad de la automatización, para que el ser humano pueda supervisar la automatización y detectar las deficiencias o fallas con el fin de compensarlas. "Adaptable" quiere decir aquí que puede ser modificado según las circunstancias cambiantes. Deberían ofrecerse opciones semejantes en la

automatización de los sistemas CNS/ATM. La gama de opciones es necesaria para permitir a los operadores humanos administrar su carga de trabajo (teniendo en cuenta diferentes niveles de competencia) y hacer ajustes en función de la fatiga y la distracción. En este sentido, la automatización actúa verdaderamente como otro miembro más del equipo de mando y gestión, ayudando o haciéndose cargo totalmente de ciertas funciones cuando se le indique. La adaptabilidad aumenta la evidente complejidad y se muestra aquí en contraste con la previsibilidad, para insistir en que la automatización extremadamente adaptable puede ser relativamente imprevisible en determinadas circunstancias. Si un sistema así no es previsible, o si no le brinda al operador humano suficientes indicaciones sobre sus intenciones, su comportamiento aparentemente caprichoso socavará rápidamente la confianza que el ser humano quiere otorgarle. Es bueno recordar que uno de los principios más importantes de la automatización concebida en función del ser humano establece que la automatización *debe* ser previsible si el ser humano ha de quedar al mando.

La automatización concebida en función del ser humano debe ser comprensible. A menudo, el progreso tecnológico va acompañado de mayor complejidad. Muchas funciones críticas de la automatización son ahora sumamente complejas, con varias capas de redundancia para asegurar que puedan admitir fallas. Se ha observado que la capacitación para los sistemas automáticos avanzados insume mucho tiempo y es costosa, y que gran parte del tiempo adicional se dedica a aprender lo relacionado con la automatización. Deberían elaborarse modelos más sencillos que permitan la reversión en caso de fallas. Eso aportaría ventajas para la instrucción. Aunque la automatización puede usarse de modo que funciones complejas parezcan más sencillas para el operador humano, las consecuencias de los modos en falla pueden resultar muy imprevisibles para ese operador, salvo que dichos modos se hayan estudiado a fondo en la etapa de diseño. La sencillez no ha sido incluida como un atributo necesario para la automatización concebida en función del ser humano, pero realmente podría haberse incluido. Es fundamental o bien que los sistemas sean lo bastante sencillos como para que los entiendan los operadores humanos o bien que se disponga de un modelo simplificado que ellos puedan utilizar. Si no se puede lograr que un sistema se le presente en forma razonablemente sencilla al operador humano, aumenta considerablemente la probabilidad de que sea mal comprendido y utilizado incorrectamente. Los proyectistas y fabricantes de automatización para los sistemas CNS/ATM deberían hacer un esfuerzo considerable para que sus productos resulten lo bastante simples como para ser comprendidos por operadores humanos de niveles de pericia muy diferentes.

La automatización concebida en función del ser humano debe ser flexible. Debería disponerse de una gama apropiada de opciones en materia de mando y gestión. El término "flexible" se utiliza aquí para caracterizar una automatización que pueda adaptarse a diversas variables ambientales, operacionales y humanas. Debe disponerse de una amplia gama de opciones de automatización, con el fin de proporcionar flexibilidad a una gran diversidad de operadores humanos, con niveles de experiencia que varían entre muy escasa y muy abundante y estilos cognitivos que varían de modo igualmente amplio. Dada la tendencia a una relación inversa entre posibilidad de comprensión y flexibilidad, la primera no debe sacrificarse en favor de la segunda, porque la capacidad de los seres humanos para entender sus dispositivos de automatización es esencial para su capacidad de mantener el mando.

La automatización concebida en función del ser humano debe ser fiable. La automatización debería hacer de manera fiable lo que se le ordene hacer, nunca debería hacer lo que se le ordenó no hacer y nunca debe empeorar la situación. Los seres humanos no utilizarán, o mirarán con aprensión, todo sistema o función automatizados que no se comporten de manera fiable o que parezcan comportarse caprichosamente. Esa desconfianza puede estar tan arraigada que podría anular la finalidad prevista por el proyectista. La fiabilidad es de especial importancia con respecto a los sistemas de alerta y advertencia. La desconfianza ante advertencias legítimas señaladas por sistemas que tendían a dar advertencias falsas ha tenido en el pasado consecuencias trágicas. En

realidad, quizás sea más prudente omitir una función por completo, incluso una función muy conveniente, que proporcionarla o activarla antes de que haya sido certificada como fiable.

La automatización concebida en función del ser humano debe ser informativa. La información es crítica, tanto para participar en la tarea como para mantener el control sobre ella. Si un sistema fuese perfectamente fiable en su funcionamiento, no habría necesidad de informarle al operador humano acerca de su funcionamiento. Pero la perfección es imposible de lograr y la información suministrada debe ser lo más infalible que se pueda, teniendo presente que cada incremento en la cantidad de información contribuye a que mas probablemente la misma se pierda o sea incorrecta. Uno de los principios más importantes de la automatización concebida en función del ser humano es que "para participar, el ser humano debe estar informado". Pero, **¿qué cantidad de información es suficiente?, ¿Cuánta es demasiada?** Los operadores humanos quieren obtener toda la información posible, pero no pueden asimilarla si es demasiada y lo que pueden dejar de lado es imprevisible. Es conveniente que los cambios de formato estén menos atestados y sean más sencillos; en síntesis, que se proporcione una organización activa, más que pasiva, de la información, que se ayude al ser humano a asignar prioridades para garantizar que se prestara atención en primer término a las cosas más importantes. Una vez más, la propia automatización puede generar algunos problemas o estos pueden deberse a que las interfaces entre la automatización y el ser humano no son óptimas. La forma de la información determinara a menudo si se le puede prestar atención o no y debería ser tenida en cuenta durante el desarrollo de cualquier sistema de información CNS/ATM.

La automatización concebida en función del ser humano debe ser resistente al error. De ser posible, la automatización debe impedir que los operadores humanos cometan errores. Idealmente, el sistema de automatización ATM debería impedir que haya cualquier tipo de error, tanto del propio sistema como de los operadores humanos. Quizás esto no sea realista, pero un sistema puede y debe estar diseñado para ser a prueba de errores en el mayor grado posible. La resistencia al error en la automatización propiamente dicha puede entrañar la verificación interna para determinar que el sistema está funcionando dentro de las pautas de diseño. La resistencia al error humano puede entrañar la comparación de las decisiones humanas con un modelo de decisiones permitidas o puede basarse en presentaciones visuales claras, sencillas y procedimientos simples e intuitivos para reducir al mínimo la probabilidad de errores. La automatización de procedimientos inevitablemente complejos es necesaria y totalmente apropiada, siempre que el ser humano se mantenga dentro del ciclo de operaciones para poder entender lo que está pasando. El sistema debe poder ser utilizado por el ser humano si falla la automatización y debe suministrar una indicación sin ambigüedad de que está funcionando correctamente. También es indispensable que proporcione los medios para que los operadores humanos puedan detectar el hecho de que se ha producido un error humano o de la automatización. Esas advertencias deben suministrarse con tiempo suficiente para permitir a los operadores humanos determinar el error y deben proporcionarse los medios que permitan corregir el error una vez localizado. Cuando sea imposible, deben indagarse las consecuencias de una medida antes de que se permita adoptarla.

La automatización concebida en función del ser humano debe ser tolerante del error. Aun en un sistema muy resistente a los errores, se producirán algunos; por lo tanto, la automatización debe poder detectar y atenuar el efecto de esos errores. Dado que la resistencia al error es relativa más que absoluta, se requiere una "defensa por capas" contra los errores humanos. Además de construir sistemas que resistan lo más posible a los errores, es necesario y muy conveniente construir sistemas que los toleren. En este sentido, "tolerancia" significa el acto de permitir algo; esto cubre toda la panoplia de medios que pueden usarse para garantizar que cuando se cometa un error, no se permitirá que eso ponga en riesgo la seguridad. El sistema de la aviación ya posee un alto nivel de tolerancia de los errores, principalmente mediante la supervisión de los demás miembros del equipo. Pero quizás algunos errores posibles en un

equipo automatizado, tales como los errores en la entrada de datos, solo resulten evidentes mucho después de haberse cometido. Tal vez sean necesarios nuevos programas de soporte lógico, pantallas de presentación visual y dispositivos de supervisión para descubrir los errores más ocultos. En tales casos, puede ser apropiado verificar las decisiones utilizando criterios de razonabilidad. Dado que es imposible evitar o descubrir todos los errores humanos posibles, puede ser útil recurrir a los datos sobre sucesos y en especial incidentes previos en la aviación, para señalar los tipos de errores que se producen con cierta frecuencia.

Los atributos expuestos de una automatización concebida en función del ser humano no son mutuamente excluyentes; existe entre ellos cierta superposición. Los primeros principios sugieren el establecimiento de prioridades generales cuando se requiere un compromiso. Se indica que si los seres humanos deben estar al mando, tienen que estar informados. La responsabilidad es una faceta importante de la información al operador humano, así como un medio importante por el cual el operador puede supervisar el funcionamiento de la automatización. La comprensibilidad es otro rasgo crítico si el ser humano debe mantenerse informado; la persona debe poder entender lo que está haciendo la automatización. Cada una de estas características es un aspecto de la informatividad. En todo momento, el operador humano debe estar efectivamente informado con un mínimo de información, e informado de tal manera que exista una probabilidad muy elevada de que la información sea asimilada. En los casos en que un sistema automático actúa de manera imprevisible, debería contarse rápidamente con una explicación, si ya no se sabe o es claramente obvia.

Con las excepciones inevitables, los encargados de establecer normas y el público en general coinciden en que los seres humanos son quienes asumen en última instancia la responsabilidad por la seguridad del sistema de la aviación civil. Esto sugiere que los seres humanos deben mantenerse plenamente al mando de todo el sistema. Sin embargo, a pesar de esta afirmación, se cree que quizás la independencia de la automatización tienda a soslayar el operador humano a medida que se automaticen cada vez más elementos terrestres del sistema de transporte aéreo. La automatización que deje de lado a los operadores humanos reducirá necesariamente su participación en el sistema aeronáutico y su capacidad de controlarlo, lo cual disminuirá a su vez su capacidad de recuperarse de las fallas o de compensar las insuficiencias de los subsistemas automáticos. Los proyectistas de la automatización deberían probar de manera concluyente que tales insuficiencias no existirán o que tales fallas no ocurrirán antes de que la comunidad aeronáutica pueda contemplar la posibilidad de sistemas de automatización que puedan soslayar al operador humano. Es importante encontrar un equilibrio; cuando se requieran soluciones de compromiso, estas deben inclinarse por mantener al operador en el ciclo, de modo que pueda encontrarse allí cuando sea necesario.

A pesar de los espectaculares adelantos tecnológicos en la automatización, la eficacia de los sistemas automáticos y computadorizados se mantiene inseparablemente ligada a las posibilidades de desempeño de los operadores humanos. La automatización de la ATM impondrá drásticos cambios en el papel del operador humano; puede también provocar cambios importantes en el proceso mediante el cual los controladores de tránsito aéreo y los pilotos colaboran para cumplir con su misión del modo más seguro posible. Si un sistema ATM automático inhibe la posibilidad de que los controladores y los pilotos trabajen en cooperación para resolver los problemas, limitara gravemente la flexibilidad del sistema y la pérdida de esa flexibilidad podría desbaratar gran parte de las ventajas que se esperan de un sistema más automatizado. En este contexto, deberían proyectarse sistemas automáticos o computadorizados de avanzada en el sistema CNS/ATM para ayudar a los seres humanos a desempeñar nuevas y difíciles tareas y responder con seguridad a las necesidades y requisitos del futuro. A través del tiempo, la tecnología destinada a aumentar los márgenes de seguridad se ha empleado para aumentar la producción, dejando los márgenes de seguridad relativamente intactos. Si los seres humanos van a seguir siendo totalmente responsables de la seguridad del sistema, la automatización no debería

utilizarse para aumentar la productividad de los sistemas más allá de los límites de la capacidad humana de intervenir manualmente en caso de una falla de automatización del sistema. Al proyectar los diversos componentes del sistema CNS/ATM, los proyectistas y fabricantes, así como los encargados de establecer las normas, deberían recordar que la faceta más importante de todo el sistema es el ser humano que hace funcionar, controla u organiza todo el sistema en procura de objetivos humanos y sociales.

En general, la evolución de la automatización hasta la fecha ha sido impulsada en gran medida por la tecnología. No obstante, los proyectistas de nuevas aeronaves y de otros sistemas aeronáuticos en los últimos años han intentado decididamente ayudar a los seres humanos a hacer lo que quizás no puedan hacer bien por el apremio de las operaciones cotidianas. De este modo, han contribuido a eliminar algunas causas de error humano, capacitando a otros directamente vinculados con la nueva tecnología.

ERGONOMÍA

Introducción

La ergonomía se ha utilizado en el diseño de herramientas, aunque fuera de manera elemental, desde los inicios de la civilización. En la aviación, los esfuerzos desplegados durante las primeras etapas de su desarrollo, e incluso después durante muchos años, se centraron en la elaboración de algunos principios de carácter general que sirvieron de orientación para el diseño de las pantallas (presentaciones visuales) y mandos del puesto de pilotaje. Más adelante, estas tareas se ampliaron a fin de incluir análisis experimentales sobre el diseño y disposición del equipo, y se hicieron asimismo análisis de las exigencias y carga de trabajo que el equipo y las tareas requerían del operador humano. En los métodos de diseño de hoy en día ya se tienen en cuenta las características del usuario (capacidad, limitaciones y necesidades) durante las primeras etapas del proceso de desarrollo de los sistemas, y los aspectos de ingeniería están subordinados en general a dichas características. Los términos "fácil para el usuario" y "tolerante de errores" que se emplean para referirse a los equipos modernos constituyen una indicación del propósito inherente a dichos métodos.

No se puede negar que se han realizado progresos tecnológicos y que dichos progresos han mejorado la seguridad de vuelo, pero la experiencia operacional demuestra que los errores humanos todavía se producen en gran medida debido a las deficiencias en el diseño del equipo o en los procedimientos empleados para operar dicho equipo. Solamente se conseguirá mejorar todavía más la seguridad si al diseñar los sistemas se toman en consideración los elementos apropiados relativos a los factores humanos.

HECHOS BÁSICOS SOBRE ERGONOMÍA

Introducción

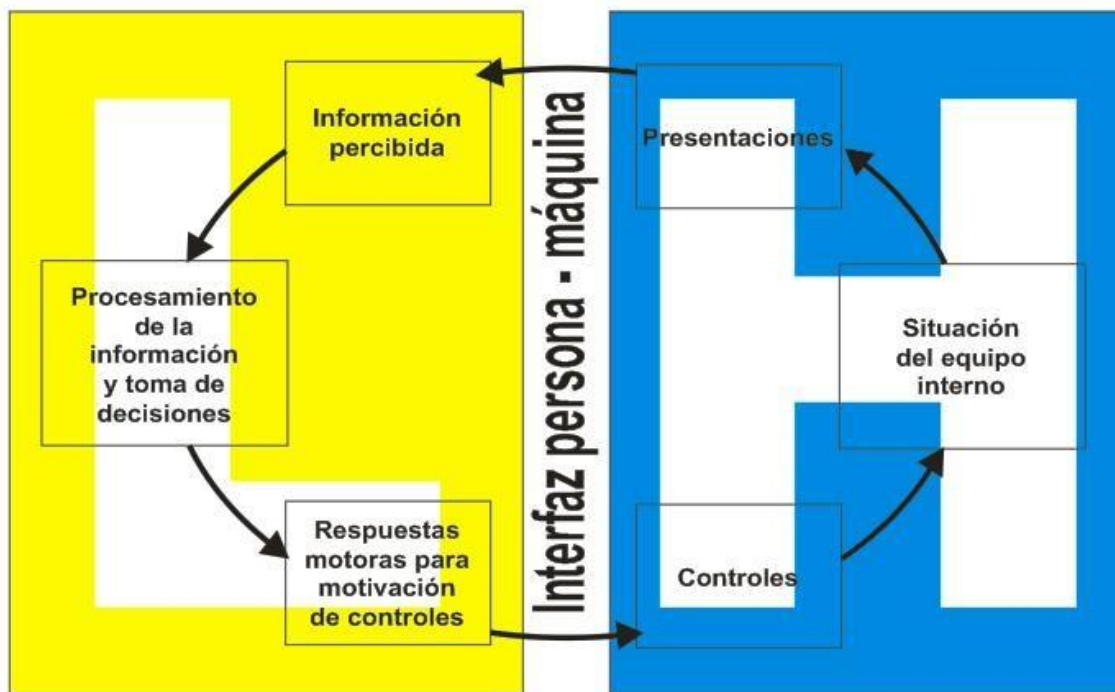
Aunque en muchos países los términos ergonomía y factores humanos se utilizan indistintamente, existe entre ambos términos una pequeña diferencia en cuanto al aspecto que se hace resaltar. El término factores humanos ha adquirido un significado más amplio, incluyéndose en su significado ciertos aspectos de la performance de las personas y de las interfaces entre sistemas que por lo general no se tienen en cuenta al hablar de temas de ergonomía. En anteriores párrafos se propone que los dos términos se consideren sinónimos, a fin de no entrar en discusiones de carácter académico o semántico y también para no dar lugar a confusiones; sin embargo, también se indica que el término ergonomía se emplea en muchos Estados para referirse estrictamente al estudio de los aspectos relativos al diseño del sistema ser humano-máquina (persona- máquina). Considerada desde esta perspectiva, *la ergonomía es el estudio de los principios de interacción entre personas y equipos* a efectos de aplicar dichos principios al diseño. La ergonomía estudia los atributos humanos para determinar cuáles son los requisitos en materia de

equipo y soporte lógico que dimanen de las características de las actividades involucradas. La ergonomía trata de solucionar el problema que plantea adaptar la tecnología y las condiciones de trabajo al ser humano.

Enfoque sistémico de la seguridad

La seguridad en la aviación y su logro mediante el diseño puede alcanzarse mejor si se sigue una estrategia sistémica. El método sistémico es un modo de descomponer el "mundo real" en sus componentes identificables y ver cómo interactúan y se integran. La interfaz elemento humano-equipos del modelo SHEL, que fue presentado en párrafos anteriores, puede considerarse como un sistema *ser humano-máquina*, constituido por personas y máquinas que interactúan en un ambiente para lograr una serie de objetivos del sistema. La ergonomía tratara de optimizar la interacción entre personas y máquinas dentro del sistema (la interfaz **L-H**), al mismo tiempo que se tienen en cuenta las características de todos los componentes del sistema (por ejemplo, el ambiente y también el soporte lógico).

Una representación simplificada del sistema persona-máquina aparece en el siguiente gráfico. El *componente máquina* esta a la derecha. Las presentaciones (por ejemplo, visuales y auditivas) informan al ser humano de cuál es la situación en que se encuentra el sistema interno o de cuáles son las condiciones externas al sistema, mientras que los mandos permiten que el ser humano efectúe cambios en la situación del sistema. El *componente ser humano* del sistema aparece a la izquierda del gráfico. La información presentada debe percibirla y procesarla el ser humano y, seguidamente, cabe tomar decisiones conscientes. Asimismo cabe efectuar respuestas motoras para modificar los ajustes de los mandos. La línea que separa la máquina y el ser humano representa la *interfaz ser humano-máquina*. La información viaja por esta interfaz en ambas direcciones; la ergonomía se preocupa mayormente de que la información pase a través de esta interfaz y el ergonomista debe asegurarse de que las presentaciones visuales y los mandos son compatibles con la capacidad del ser humano y con las tareas requeridas.



Representación de un sistema persona-máquina

Los objetivos del sistema deben definirse antes de que puedan establecerse las especificaciones y el diseño del sistema persona-máquina. Esos objetivos, unido a las restricciones operacionales que se hayan identificado, indican cuales son las condiciones en que funcionara el sistema persona-máquina. Si se procede a la operación del sistema fuera de esta serie de condiciones acaso se produzcan situaciones poco seguras.

Otra tarea importante del ergonomista consiste en la asignación de funciones y tareas a los componentes del sistema ser humano y máquina. El equipo de diseño del sistema (incluido el ergonomista) decide que funciones deberían asignarse al equipo, al soporte lógico y al ser humano, basándose en consideraciones tales como las características de las personas, las tareas requeridas, la carga de trabajo, los costos, las necesidades en materia de instrucción, y las tecnologías disponibles. Si las funciones se asignan de manera inapropiada acaso se ponga en peligro la efectividad y la seguridad del sistema. La tendencia que existe a hacer comparaciones entre el ser humano y la máquina, en términos de funciones que los seres humanos pueden realizar mejor que las máquinas y aquellas funciones en que las máquinas son superiores a los seres humanos, no debería dar lugar a un enfoque simplista en materia de asignación total de ciertas funciones al ser humano o a la máquina. Los seres humanos y las máquinas deberían ser elementos complementarios a efectos de realizar las tareas. Por otra parte, dicha complementariedad debería estar concebida con la flexibilidad adecuada para que la asignación de funciones pueda adaptarse a las diversas situaciones operacionales (desde vuelos ordinarios hasta emergencias).

El ergonomista debe proceder sistemáticamente, a fin de lograr los objetivos que se desea obtener del sistema. A continuación hay una serie de ejemplos que, en forma de pregunta, ilustran el modo en que el ergonomista puede proceder al diseñar los sistemas, a saber:

¿Qué elementos de entrada (insumos) y de salida (productos) deben proporcionarse para alcanzar los objetivos del sistema?

¿Qué operaciones es preciso realizar para producir los elementos de salida del sistema?

¿Qué funciones debería efectuar la persona en el sistema?

¿Qué requisitos en materia de instrucción y pericia deben cumplir los operadores humanos?

¿Hay compatibilidad entre las tareas exigidas por el sistema y la capacidad humana?

¿Qué interfaces de equipo necesita el ser humano para desempeñar su trabajo?

Control de los errores humanos

El error humano es un problema muy complejo. Esta expresión debe emplearse no obstante con buen juicio, ya que se puede percibir como indicativa de culpa. Además la palabra "error" implica que ha habido una desviación con respecto a lo que constituye un comportamiento correcto o apropiado definible. De hecho, a menudo es difícil definir lo que constituye comportamiento apropiado y el error humano se está postulando cada vez como un síntoma de las deficiencias inherentes al diseño del equipo o del desempeño de los sistemas más bien que una causa en sí misma. A pesar de estas salvedades, el error humano sigue siendo un concepto importante para

comprender la naturaleza de los factores que repercuten en el comportamiento humano, y existen varias clasificaciones de errores humanos que han sido propuestas por distintos autores.

Con miras a minimizar el error humano, uno debe primero comprender su naturaleza. Hay conceptos básicos relacionados con la naturaleza del error humano: *los orígenes de los errores y su frecuencia pueden ser fundamentalmente diferentes; y las consecuencias de los errores también pueden ser notablemente diferentes*. Aunque ciertos errores pueden deberse al descuido, a la negligencia o a poco discernimiento, muchos errores vienen provocados por el mal diseño de los equipos o pueden ocurrir a raíz de reacciones normales que una persona tiene cuando se produce una situación de estrés. Los errores provocados por el mal diseño de los equipos o por situaciones de estrés probablemente se repetirán y cabe corregirlos mediante la ergonomía.

Cada una de las interfaces del modelo SHEL tiene posibilidades de errores cuando hay un mal apareamiento entre los componentes. Por ejemplo:

- La interfaz *elemento humano-equipo* es una fuente frecuente de errores: si los códigos no son apropiados, se produce un mal apareamiento en esta interfaz.
- En la interfaz *elemento humano-soporte lógico*, pueden producirse retrasos y errores cuando se trata de obtener información vital a partir de documentos y cartas que dan lugar a confusiones, que son engañosas o que están excesivamente atestadas de información. También se pueden producir problemas relacionados con la presentación de la información y con el diseño del soporte lógico de computadora.
- Los errores relativos a la interfaz *elemento humano-ambiente* están ocasionados por factores ambientales tales como el ruido, el calor, la luz, la calidad del aire, y las vibraciones, así como por la perturbación de los ritmos biológicos.
- En la interfaz *elemento humano-elemento humano*, el tema se centra en la interacción entre personas porque eso puede repercutir en la efectividad del personal y del sistema. Esta interacción también incluye los aspectos de liderazgo y de mando, y las deficiencias que pueden reducir la eficacia operacional y pueden provocar malos entendidos y errores.

Todo aquello que permite evitar errores de este tipo es objeto de estudio por parte de la ergonomía. El control del error humano requiere dos métodos distintos, a saber: **en primer lugar**, es conveniente *minimizar el número de errores* (la eliminación total del error humano no es un objetivo realista, ya que los errores forman parte normal del comportamiento humano). Por ejemplo, se pueden reducir los errores si se logra un elevado nivel de competencia del personal; si se proporcionan las listas de verificación, los procedimientos, los manuales, los mapas y las cartas adecuadas; si se controlan los ruidos, las vibraciones, las temperaturas extremas y otras condiciones de estrés; y si se proporcionan programas de instrucción y de información destinados a aumentar la cooperación y la comunicación entre los miembros de la tripulación. **En segundo lugar**, existe el método de controlar el error humano tratando de *minimizar el impacto o las consecuencias de los errores* mediante la utilización de enfoques que promuevan la seguridad, tales como verificaciones mutuas, cooperación entre las personas, y diseños de equipo a prueba de falla.

CAPACIDAD HUMANA

El sistema visual

El sistema visual (es decir los ojos y el sistema nervioso conexo) se considera generalmente como el sistema sensorial más importante a través del cual el ser humano adquiere información de

fuentes externas. No trataremos aquí de discutir la anatomía del sistema visual, ya que esta descrito en muchos textos corrientes. Haremos más bien hincapié en el sistema visual en funciones de trabajo, lo que puede y lo que no puede hacer. La performance visual depende de varios factores: algunos de ellos son internos al sistema visual (por ejemplo, la agudeza visual, el ajuste y la convergencia, la adaptación a la luz y a la oscuridad, la percepción de los colores, etc.), mientras que otros factores son externos e incluyen variables tales como características de la tarea, del objetivo y del medio ambiente (por ejemplo, intensidad de la luz, contraste, tamaño, ubicación, movimiento y color). Todos estos factores interactúan entre sí para determinar la agudeza y velocidad de la performance visual humana. Si se entienden bien estos factores humanos y del sistema, el ergonomista podrá predecir y optimizar la performance del sistema en condiciones operacionales diversas.

Conviene separar las funciones visuales en sus tres componentes sensoriales: la luz, la forma y el color. El ojo puede funcionar con una amplia gama de intensidades luminosas, desde la débil luz de una estrella hasta una luna llena o un sol brillante. El ojo necesita tiempo para ajustarse a diversos niveles de intensidad luminosa debido a que el mecanismo es un proceso fotoquímico. Al adaptarse de la oscuridad a la claridad el ojo se ajusta rápidamente, mientras que el proceso inverso es más lento. La adaptación entraña tres procesos:

- Primero, la cantidad de luz que puede entrar en el ojo (y alcanzar así la retina) está regulada por el tamaño de la pupila; éste aumenta cuando la persona trata de ver en la oscuridad y disminuye cuando hay una luz brillante.
- Segundo, se produce un proceso fotoquímico cuando cambia la intensidad de la luz,
- Tercero, hay dos mecanismos que funcionan a diferentes niveles de intensidad luminosa.

La visión que proporcionan los bastoncillos, basada en la función de estos receptores periféricos de la luz en la retina, actúa desde el nivel mínimo hasta el del claro de luna; la agudeza visual en cuanto a las formas es pobre y no pueden distinguirse los colores. A partir de la claridad matinal, la visión que proporcionan los conos, o sea los receptores centrales de luz en la retina, la agudeza visual en cuanto a las formas y los colores resulta buena. En la etapa de transición, que corresponde aproximadamente al plenilunio, tanto los bastoncillos como los conos están funcionando. Otra característica importante de la visión proporcionada por los bastoncillos y los conos es su diferente sensibilidad espectral, fácilmente observable en el crepúsculo cuando los colores rojizos se hacen oscuros antes del cambio de otros colores, debido a la relativa insensibilidad de los bastoncillos a la luz roja. Un resultado de éste doble mecanismo de percepción de la luz es que para detectar las luces tenues, uno tiene que mirar fuera del centro.

La agudeza visual es la capacidad con que cuenta el sistema visual para resolver los detalles. Puede expresarse de distintas maneras; corrientemente se expresa en términos de la letra de menor tamaño que puede leer un individuo en el cuadro o escala de Snellen (escala de optotipos) a una distancia de 20 ft (6 metros), en comparación con la distancia a la que una persona "normal" puede leer esa misma letra. Así pues, si por ejemplo 20/20 es la visión normal, 20/40 significa que el individuo puede leer únicamente a una distancia de 20 ft (6 metros) lo que una persona normal leerá a una distancia de 40 ft (12 metros). Hay otros factores que afectan la agudeza visual, tales como el brillo absoluto, el contraste de brillo, el tiempo que se ha contemplado el objeto, el movimiento y el deslumbramiento.

Para ver un objeto de manera nítida, el ojo debe enfocararlo. Al enfocar objetos situados entre el infinito y 5 a 6 metros, el ojo normal no cambia pero cuando enfoca objetos a distancia más corta (menos de 5 metros), suceden dos cosas: los ojos se adaptan (o sea, ajustan su estado de refracción de manera de corresponder a la distancia del objeto) y los globos de los ojos se

mueven de modo que los ejes visuales de los dos ojos estén en convergencia con el objeto. Cuando las pistas visuales son tenues o inexistentes (p.ej., un espacio vacío), los músculos que controla la adaptación y la convergencia se ajustan a la distancia de un metro (“miopía del espacio vacío”). Este hecho afectará notablemente la performance visual en todos aquellos casos en que la persona trate de distinguir objetos distantes cuando las referencias visuales son débiles, como ocurre al tratar de ver desde el puesto de pilotaje dónde se encuentran las aeronaves notificadas en las informaciones sobre tránsito aéreo.

Los ojos transmiten habitualmente la información percibida con bastante fidelidad. Sin embargo, puede haber ambigüedades e incertidumbres, cuando ésta información percibida es procesada por el cerebro y se combina con factores emocionales, con el aprendizaje y con las experiencias pasadas, o con las expectativas. Estos factores están incluidos en el propio marco mental, y eso se ejemplifica con el dicho popular “**uno ve lo que quiere ver**”. Así pues, a título de ejemplo, digamos que se puede percibir correctamente una luz de aviso indicativo que hay falla en el sistema, pero si el piloto ha tenido experiencias anteriores en la que ha habido avisos erróneos acaso lo considere una falla de la señal y por lo tanto hacer caso omiso de la misma.

La falta de respuesta a un estímulo visual, incluso cuando haya sido percibido claramente puede deberse a la fascinación (concentración de la atención). En éste caso, el piloto se encuentra en un instrumento de vuelo – por ejemplo, el sistema director de vuelo – y desatiende otras informaciones importantes ante las cuales debería reaccionar. La fascinación se produce no sólo en condiciones de mucho recargo de trabajo sino también cuando éste es poco y predomina el tedio.

Durante muchos años, los fisiológicos y sicólogos han propuesto distintas teorías para explicarlas y se puede consultar tales estudios y buscar información general sobre las ilusiones visuales en la aviación en otras publicaciones. Por lo que respecta a éste tema, baste con resaltar la vulnerabilidad humana a esos fenómenos.

Los sistemas vocal y auditivo

El **sistema vocal** produce el habla, que es el resultado de la interacción de varios de sus componentes. Voces distintas utilizan distintas gamas de tonos y frecuencias, y aunque hay muchos modos de deformar el habla, siempre que el patrón de frecuencia se mantenga intacto, el habla será inteligible. El **sistema auditivo** percibe las señales sonoras y el habla, y las transmite al cerebro para su procesamiento. El oído externo está formado por el pabellón u oreja, el conducto auditivo y el tímpano. El oído medio tiene tres pequeños huesos denominados huesillos, que transmiten los sonidos del exterior hacia el oído interno. El oído medio está conectado con la nariz y con la garganta; al tragar, bostezar o estornudar, la presión que existe en el oído medio se iguala con la presión del exterior. El oído interno contiene el aparato vestibular cuyas funciones son, entre otras, mantener el equilibrio y proporcionar al cerebro la información relativa a los movimientos de aceleración y cambios de posición.

Las deficiencias en la capacidad auditiva pueden ser resultado de que haya bloqueo en las conexiones entre el oído medio y la boca/nariz (por ejemplo, debido a un simple resfriado). Esas deficiencias también pueden deberse a que se hayan depositado en los huesillos nuevos materiales óseos o de calcio, o acaso pueden deberse a infecciones del oído medio con la consiguiente acumulación de líquido que amortigua el movimiento de los componentes sonotransmisores. Si se está expuesto durante largo tiempo a ruidos intensos (como por ejemplo el ruido de ciertas máquinas o de los motores de las aeronaves), se pueden dañar permanentemente los nervios del oído interno. Ciertas enfermedades tales como tumores en el cerebro y ataques apopléticos pueden interferir en el funcionamiento de aquella región del cerebro

que está vinculada con la capacidad auditiva y por último cabe decir que la capacidad auditiva generalmente se deteriora con la edad.

Hay cuatro características primarias en el sonido del habla, a saber: **Intensidad**, que se mide en decibeles (dB) y que produce la sensación de sonoridad; **frecuencia**, que se mide en hercios (Hz) o ciclos por segundo y produce la sensación de tonalidad, **composición armónica**, que se refiere a la calidad del habla, y **factor tiempo**, que refleja la velocidad con que se pronuncian las palabras, la longitud de las pausas, y la longitud de los distintos sonidos.

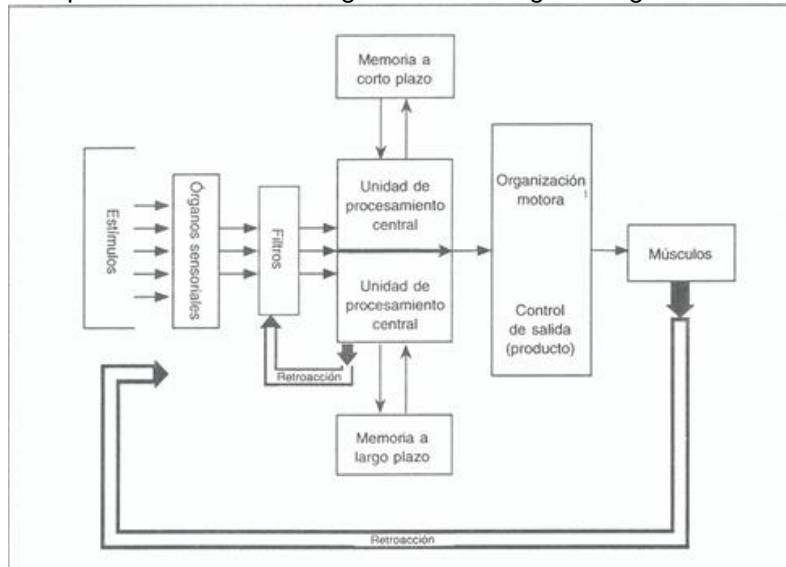
Ruido es todo sonido no deseado o un sonido que no tiene ninguna relación con la tarea que se está efectuando. El ruido puede interferir con las comunicaciones orales, molestar al que escucha o afectar a la realización de la tarea, y puede tener repercusiones en materia de salud. La relación que existe entre la sonoridad de un sonido “deseado” y el ruido de fondo se denomina *relación señal a ruido*, que es un factor más importante que el nivel absoluto de la señal o del ruido a efectos de determinar la inteligibilidad.

La **redundancia** en el lenguaje hablado ayuda a transmitir la información incluso cuando el sonido está distorsionado o rodeado de ruido. Uno de los peligros subyacentes en el caso de información distorsionada reside en el hecho de que el oyente completa las lagunas de su comprensión recurriendo a su experiencia pasada, a sus conocimientos y a lo que espera escuchar, por lo cual hay riesgos de que se llegue a falsas hipótesis. El enmascaramiento es consecuencia de que un componente del sonido (por ejemplo, el ruido no deseado) reduce la sensibilidad del oído respecto a otro componente (por ejemplo, una señal sonora o el habla). Cuanta mayor cantidad de habla se pierde – por distorsión, ruido, deficiencias personales en la capacidad auditiva, etc. – mayores serán los riesgos de que las expectativas respecto a lo que uno espera oír contribuyan a interpretar los mensajes orales, y naturalmente esto puede tener consecuencias desastrosas.

La ergonomía trata de mitigar los efectos adversos producidos por el ruido en la capacidad auditiva y en la inteligibilidad del habla, para lo cual se enfrenta con el problema en la fuente, o en la fase de transmisión, o en el extremo receptor de la señal, del habla o del ruido.

PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN EN EL SER HUMANO

El ser humano cuenta con un sistema poderoso y amplio para percibir y procesar la información del mundo que le rodea. La percepción y procesamiento de la información puede desglosarse en varias etapas que se presentan de manera general en el siguiente gráfico:



La información en forma de estímulos debe percibirla la persona antes de que pueda reaccionar a dicha información. Existen posibilidades de errores por que los sistemas sensoriales sólo funcionan dentro de una gama estrecha. Una vez percibidos los estímulos, se transmiten y procesan en el cerebro y se llega a una conclusión respecto a la naturaleza y al significado del mensaje recibido. Esta actividad interpretativa que involucra funciones cerebrales de alto nivel se denomina **percepción** y es una gran fuente de errores. Las expectativas, la experiencia, la actitud, la motivación, y el interés (viveza de la atención) son todos ellos elementos que influyen en la percepción y que pueden asimismo ser causa de errores.

Después de establecidas las conclusiones sobre el significado de los estímulos, empieza la toma de decisiones. También en este caso, muchos factores pueden dar lugar a la adopción de decisiones erróneas, a saber: una formación inadecuada/inapropiada o determinadas experiencias pasadas; ciertas consideraciones de carácter emocional o comercial; la fatiga, la medicación, la motivación y las condiciones físicas o psicológicas. La acción (o la inacción) es fruto de una decisión. Después de pasar a la acción, acaso se cuente con un mecanismo de retroacción para informar a la persona acerca del grado de eficacia de la acción. A todo lo largo de estas dos últimas fases mencionadas existen posibilidades de cometer errores.

La capacidad de recordar es fundamental en el procesamiento de la información por el ser humano; incluso el sistema más simple no puede funcionar sin memoria. Dado que la memoria humana es un recurso limitado, el ergonomista debe tener cuidado para diseñar sistemas que no sobrecarguen dicha memoria. Hay que distinguir entre memoria a corto y largo plazos. La memoria a largo plazo está relacionada con la retención y con la recuperación de la información durante un largo período de tiempo. La instrucción y la formación son medios eficaces para mejorar esas capacidades de retención y recuperación. La memoria a corto plazo posibilita la retención y procesamiento de los datos necesarios para las actividades corrientes. Los datos se olvidan fácilmente después de completadas las actividades.

La duración del almacenamiento de la información es lo que diferencia la memoria a corto plazo de la memoria a largo plazo. La memoria a corto plazo involucra cambios rápidos y continuos en la información y permite la retención y procesamiento a corto plazo de los datos. La memoria a largo plazo involucra secuencias repetidas menos frecuentemente y se caracteriza por el almacenamiento de la información a largo plazo. La repetición de los ensayos facilita el almacenamiento de la información en la memoria a largo plazo.

La memoria a corto plazo tiene una capacidad muy limitada. Se ha determinado que en general se puede retener una pequeña cantidad de información en un momento dado (siete elementos, dos más o dos menos). Los elementos (símbolos) que se sitúan al principio de la serie y, especialmente, los últimos de la serie se recuerdan mejor. La capacidad del ser humano para distinguir las informaciones visuales tiene limitaciones análogas.

Las limitaciones arriba mencionadas respecto a la memorización de siete elementos de datos, tiene validez cuando se trata de cosas que no tienen relación entre sí en el marco de la experiencia de la persona en cuestión. Por ejemplo, el término BAJA PRESIÓN cuenta con once

elementos sin relación entre sí, pero son en realidad dos grupos en lo que atañe a la memoria a corto plazo. Los elementos de cada grupo se han fundido en una unidad coherente. En todo sistema donde haya que memorizar series de elementos. El ergonomista debe tratar de utilizar el principio de agrupación para mejorar la memoria a corto plazo.

La atención es un término que tiene dos sentidos distintos. Por una parte se refiere a la capacidad del ser humano de hacer caso omiso de sucesos extraños y centrarse en los acontecimientos que le interesan (atención selectiva). Esto se ejemplifica con el caso de una persona que mantiene una conversación mientras se celebra una fiesta ruidosa. Para decirlo brevemente, consiste en la capacidad de centrarse en una fuente de información mezclada con otras fuentes de estímulos. Por otra parte también tiene el significado de que el ser humano cuenta con la capacidad de dividir su atención para ocuparse de más de una cosa al mismo tiempo.

No hay una única definición de carga de trabajo mental. Algunos relacionan dicha carga de trabajo con el procesamiento de la información y con la atención, otros la relacionan con el tiempo disponible para efectuar una tarea, mientras que otros la relacionan con el estrés y con el interés (viveza). Las opiniones subjetivas sobre carga de trabajo se pueden recopilar utilizando escalas de clasificación, cuestionarios o entrevistas; con frecuencia se han empleado estos métodos de tratar de definir o medir la carga de trabajo en condiciones operacionales. A medida que la tecnología adelanta en nuestra sociedad, la carga de trabajo mental será más importante que la carga de trabajo físico. Habida cuenta de los modernos sistemas automatizados, los operadores a menudo deben realizar tareas monótonas físicas o mentales poco variadas. Se han hecho considerables esfuerzos para establecer métodos de evaluación de la carga de trabajo mental y describir o predecir cuánta carga mental exige una tarea.

EL AMBIENTE O ENTORNO

Estrés

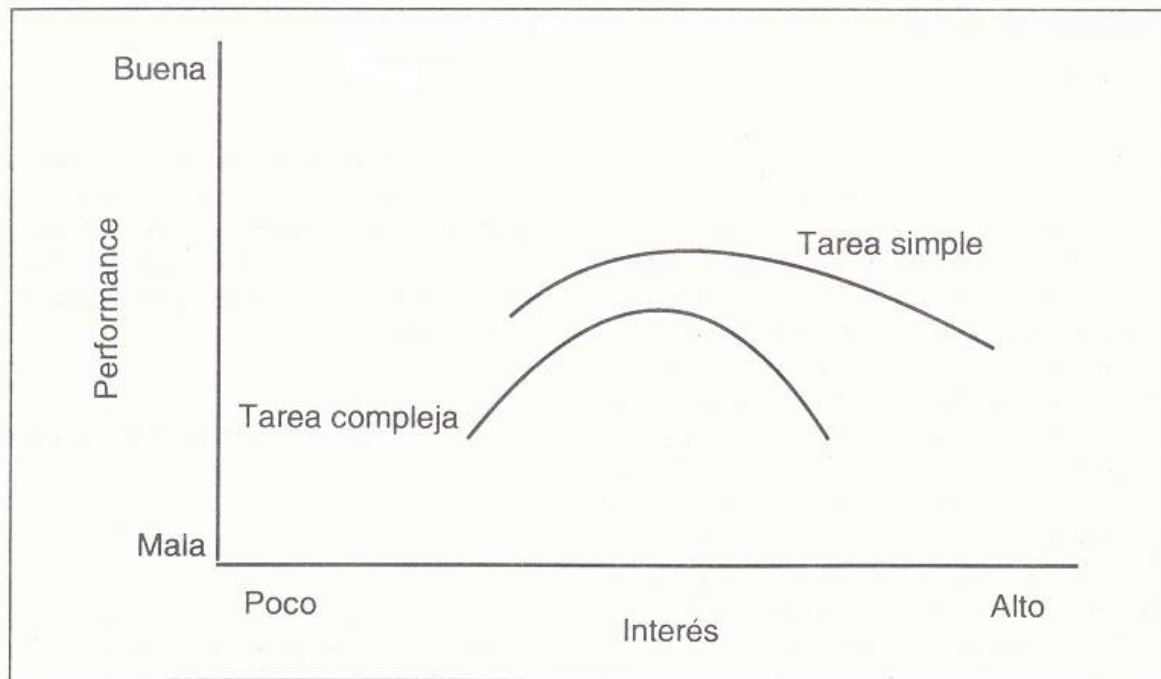
El estrés ha sido definido por Hans Selye como toda respuesta no específica del cuerpo a determinadas circunstancias que se le presentan a la persona. Este concepto supone que existe un estado "normal" u "óptimo" para las funciones corporales y que los elementos causantes de estrés (es decir, los estímulos o situaciones que lo ocasionan) constituyen una desviación de ese estado normal. En general, el estrés representa un esfuerzo que el cuerpo hace para adaptarse o para encarar exigencias circunstanciales y volver lo antes posible al estado normal.

Cabe diferenciarlo en los siguientes tipos: estrés vital (actividades de la vida), estrés ambiental, y estrés cognitivo. El **estrés vital** viene producido por sucesos adversos que ocurren en la vida de una persona (por ejemplo, divorcio, muerte en la familia). Los tipos de estrés ambiental y cognitivo están más bien relacionados con actividades concretas llevadas a cabo por el ser humano. El **estrés ambiental** incluye los efectos que tienen factores tales como la temperatura, la humedad, el ruido, la presión, la iluminación y las vibraciones. El **estrés cognitivo** atañe a las exigencias cognitivas (o mentales) de la tarea propiamente dicha. Las medidas que existen para contrarrestar y minimizar los posibles efectos dañinos del estrés ambiental y del estrés cognitivo quedan comprendidas dentro del campo de la ergonomía.

El estrés ha estado vinculado tradicionalmente con el interés (viveza de los sentidos), lo cual tiene relación con cambios no específicos (por ejemplo, actividades hormonales y del cerebro) que ocurren en el cuerpo cuando se producen estímulos externos. En general, los niveles de estrés e interés (viveza) están correlacionados positivamente, es decir, un estrés elevado va unido a un nivel de interés elevado.

La ley Yerkes-Dodson que aparece en el siguiente gráfico, establece una relación entre performance e interés. Allí se demuestra que los niveles de performance de las personas

aumentan según el grado de interés, hasta un punto a base del cual todo incremento adicional de dicho interés menoscabara en general la performance de la tarea. La forma que adquiere la curva indicativa que la relación es la misma para las distintas tareas, pero la forma exacta de cada curva y su emplazamiento dentro del diagrama variara con arreglo a la complejidad de la tarea realizada. El estrés está relacionado con la capacidad de la persona para prestar atención a los estímulos del entorno. En una situación simple donde existen pocos estímulos, el estrés mejorara la performance pues la atención podrá centrarse. En una situación compleja donde existen muchos estímulos, el estrés disminuirá la performance porque se hará caso omiso de muchos estímulos.



La ley Yerkes-Dodson sobre performance e interés

Ruido

El ruido se define como sonido no deseado. Hay dos aspectos importantes del ruido que deben ser objeto de examen, a saber: las fuentes de ruido, y los efectos fisiológicos y psicológicos sobre la persona que está expuesta al ruido. El ruido afecta a la persona de muchas maneras, dependiendo de si es un ruido esperado, si hace la tarea más difícil, y si la persona está relajada o alerta.

El efecto patológico más importante del ruido, que es la incapacitación auditiva, ya se ha discutido anteriormente. Entre otros efectos fisiológicos cabe citar los cambios en la presión de la sangre y en el número de pulsaciones del corazón, los dolores de cabeza, el cansancio y los problemas gastrointestinales tales como las úlceras. En el pasado, las tareas monitoras de emisiones de radio de alta frecuencia (HF) durante periodos de tiempo prolongados constituían una fuente notable de ruido. Esto se ha atenuado gracias a la introducción del sistema de llamada selectiva (SELCAL). Los progresos tecnológicos en las comunicaciones - al igual que en otras aéreas - proporcionarían ciertamente nuevas mejoras a efectos de proteger la capacidad auditiva. Con todo, el hecho es que todo el personal que está expuesto a intensos ruidos en su lugar de trabajo durante largos periodos de tiempo, pueden fácilmente esperar que sufrirán una cierta pérdida de su capacidad auditiva además de la pérdida natural que ocurre con la edad.

El ruido afecta a la performance pues se produce interferencia con la detección y comprensión de las señales o del lenguaje atinentes a las tareas. El ruido interfiere con las comunicaciones orales pues modifica la relación señal-a-ruido y disminuye la inteligibilidad del lenguaje. Asimismo afecta a las comunicaciones orales por producir incapacidad auditiva.

Dado que molesta a la mayor parte de la gente, el ruido puede repercutir en las condiciones psicológicas de la persona. Esto puede dar lugar a frustraciones y provocar ansiedad debido a la necesidad de repetir los mensajes o a las dificultades de comprensión. A su vez, esto puede aumentar la carga de trabajo y la fatiga. Aunque es tarea del ergonomista tratar de minimizar el ruido mediante elementos de diseño y mediante el suministro de protección auditiva.

Temperatura

Las temperaturas extremas son uno de los factores más corrientes de estrés ambiental. Dado que el ser humano solo se encuentra cómodo dentro de una estrecha banda de temperaturas, es necesario saber cómo funciona la persona en distintos niveles de temperatura antes de poder adoptar las medidas correctivas pertinentes. Las cuestiones relativas a las necesidades de aire acondicionado y a la performance de la persona en condiciones de estrés por causa del calor o del frío deberían ser temas resueltos y considerados durante el diseño del sistema.

El ser humano genera calor cuando trabaja en tareas mecánicas y también, aunque en menor medida, cuando descansa. El exceso de calor se transmite al entorno, principalmente a través de la transpiración y del sudor, a fin de mantener una temperatura corporal relativamente constante de 37°C (Celsius). El éxito en la regulación de la temperatura corporal depende de varios factores: la temperatura ambiente, la humedad, y la velocidad del aire. Si la temperatura corporal aumenta en más de 2°C, la eficiencia fisiológica se verá menoscabada.

Los efectos fisiológicos de temperaturas ambientes extremas son bien conocidos, pero los efectos que el estrés debido al calor produce en la performance de la persona, es un tema más complejo. En general se acepta que el calor excesivo ocasionará una disminución de la performance, pero no hay mucho acuerdo sobre cuanta disminución se producirá o cuánto tiempo tardará en manifestarse la disminución de la performance debido al calor. El ser humano puede soportar la exposición a temperaturas extremas solo por un corto lapso antes de que se manifieste una deterioración medible. La aclimatación prolonga este lapso. En personas no aclimatizadas, la deterioración se manifiesta cuando la temperatura ambiente excede los 30°C, la humedad relativa es elevada y la exposición sobrepasa las tres horas. Obviamente, la ropa y el nivel de actividad física desempeñan también un papel importante.

Cuando está expuesto al frío, el cuerpo trata de mantener la temperatura de los órganos centrales y para ello produce temblores y restringe el flujo sanguíneo que va a la superficie del cuerpo. Las temperaturas corporales inferiores a 35°C son peligrosas. La conciencia se obnubila a los 34°C, a lo cual sigue la inconciencia a alrededor de los 30°C, manifestándose habitualmente irregularidad cardíaca entre 30° y 28°C; y la muerte se hace inminente. Aunque la humedad no es un factor, la velocidad del aire es importante; por ello, en los informes meteorológicos se proporciona cada vez más el factor de enfriamiento a causa del viento. (El enfriamiento a causa del viento no es algo psicológico, pues efectivamente se produce una disminución en la temperatura del cuerpo.) El frío incrementa el tiempo necesario para la reacción y para el movimiento, y la destreza manual empieza a deteriorarse cuando la temperatura de la piel de la mano es inferior a 18°C.

Humedad

La incomodidad que produce una humedad relativa baja no significa necesariamente indisposición física. La deshidratación general puede evitarse si se toman líquidos en cantidad adecuada. Los diuréticos tales como el café o el te deberían evitarse.

Presión

El periodo de tiempo que la persona mantiene un estado de conciencia útil (TUC) después de una descompresión rápida depende del régimen de caída de la presión, y del nivel de actividad física del individuo en el momento en que se produce el hecho. La TUC variara entre 33 y 54 segundos. Esto resalta la importancia que tiene contar con una disponibilidad inmediata de oxígeno complementario.

La fiabilidad técnica de los sistemas automáticos de suministro de oxígeno, así como el diseño de ciertos tipos de mascarar de colocación rápida destinadas a la tripulación de vuelo, han resultado en ocasiones de nivel inferior al optimo. Habría que tener en cuenta que los sistemas de oxígeno se emplearan en condiciones de ansiedad y acompañados de otros elementos de estrés, y reviste la máxima importancia tanto la simplicidad de uso como la fiabilidad.

Iluminación

El carácter y la cantidad de la iluminación del puesto de trabajo necesaria para determinada tarea pueden variar considerablemente. Son factores de importancia la iluminación ambiente, otras fuentes luminosas (especialmente, la luz del sol) y la presencia de resplandor. Se define al resplandor como una condición de la visión en que hay incomodidad para ver o la visión esta disminuida para percibir objetos importantes, o ambas cosas a la vez, debido a una distribución inapropiada o gama de luminosidad (o sea, densidad de la luz, o intensidad luminosa por área proyectada unitaria) o a contrastes extremos en el espacio o en el tiempo.

El deslumbramiento es un aspecto importante a efectos de evaluar el entorno iluminado. El deslumbramiento puede estar ocasionado por luces brillantes o reflexión de la luz en las superficies del entorno. Puede ocasionar incomodidad o molestia y puede causar interferencia en la performance visual. El tipo de reflexión de las superficies depende de las propiedades de la superficie (por ejemplo, si se trata de una superficie pulida, áspera o mate). Hay pruebas indicativas de que la tolerancia al deslumbramiento contiene un elemento subjetivo. Las técnicas mas efectivas para reducir el deslumbramiento son, entre otras, el bloqueo de la superficie deslumbrante o la colocación de luces suplementarias para compensar los efectos del deslumbramiento.

Vibración

La vibración es toda forma de movimiento que cambia periódicamente su magnitud de desplazamiento en relación con un punto determinado, y se trata de un fenómeno físico generalizado. Por lo general, la vibración se transmite por contacto directo entre el cuerpo y la estructura que vibra, y puede tener efectos nocivos. La vibración reviste importancia operacional en la aviación porque puede menoscabar la agudeza visual, interferir en el control neuromuscular y provocar fatiga. Cabe suministrar protección contra la vibración si se presta atención a la fuente de las vibraciones.