



VNIVERSITAT D VALÈNCIA

Programa de Doctorado: 300A

“VALIDACIÓN DEL SUBSISTEMA DE PRESENTACIÓN DE INDICACIONES DEL DISPOSITIVO ASFA DIGITAL EN EL FERROCARRIL ESPAÑOL”.

Programa de doctorado:

Actividad humana y procesos psicológicos del Departamento de Psicología Básica

Doctoranda:

M^a Carmen Lloret Catalá

Director:

Dr. Francisco Toledo Castillo

A mis padres, por dejarme ser y enseñarme el valor de la dedicación y que la moral es hija de la justicia.

A Inés, mi vida.

A Paco, por su bondad y generosidad.

A mi madrina, mi tía Mari, por enseñarme que la fortaleza y las ganas de vivir pueden amortiguar el dolor, sin quejas y con una sonrisa. Siempre te llevaré conmigo.

“Lo maravilloso de aprender algo, es que nadie puede arrebatárnoslo”

Riley B. King

“Nunca consideres el estudio como un deber, sino como una oportunidad para penetrar en el maravilloso mundo del saber”

Albert Einstein

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a Miguel y a Pepa su valiosa ayuda. Trabajar a vuestro lado es un lujo y un orgullo dado que, por encima de ser grandes profesionales sois mejor personas y aunque hemos recorrido juntos un duro camino, sinceramente creo que ha merecido la pena.

A Paco, por compartir tu tiempo y tus conocimientos y transmitirme la ilusión por el trabajo. Gracias por confiar en mí.

A mi madre, por darme la vida y caminarla conmigo. Gracias por darle tanto amor a mi hija. Gracias por educarme y respetarme, por tu ánimo y por tu apoyo.

A mi padre, gracias por luchar por mí, por enseñarme el valor del trabajo bien hecho, por confiar en mí y por brindarme siempre tu mano.

Gracias a los dos por estar y por ser los mejores padres y sobre todo los mejores abuelos del mundo.

A Inés, mi fuente de amor, de alegría y de energía. Eres el mejor regalo. A Fran y a Samuel por nuestros momentos.

A mis hermanos, Edu, Suso e Inés porque siempre me habéis mostrado un infinito amor.

A Bárbara, a Fabi y a Lorena, gracias por acompañarme en todos, todos mis momentos y por brindarme la calidez de vuestra compañía, solidaridad y amistad. A Pepe, por su generosa hospitalidad sobre todo durante el “sprint” de L’Hort del Pi. A todos los familiares y amigos que me habéis alentado y animado.

A todos vosotros, gracias por ser y por estar ahí.

Este trabajo ha contado con la colaboración y apoyo de Renfe Operadora y de Adif.

Agradecer a todos ellos la colaboración prestada para el desarrollo de este trabajo, y, especialmente, a Antonio Lanchares Asensio, Director Corporativo de Seguridad en la Circulación de Renfe Operadora, por su gran profesionalidad y pasión por la seguridad ferroviaria.

ÍNDICE

1	Introducción general	1
1.1	La seguridad ferroviaria y el factor humano	7
1.1.1	Sistemas de protección del tren	11
1.1.2	Sistema de anuncio de señales y frenado Automático (ASFA)	22
1.2	La ergonomía cognitiva	29
1.2.1	La ergonomía cognitiva y la conducción de trenes	32
1.2.2	Ergonomía aplicada al diseño de interfaces	35
1.3	Diseño del subsistema de presentación de indicaciones ASFA Digital	49
1.3.1	Fase 1. Análisis y diagnóstico de la situación	49
1.3.2	Fase 2. Diseño y desarrollo del prototipo	60
1.3.3	Fase 3. Experimentación	66
1.4	Diferencias entre el ASFA y el ASFA Digital	69
2	Metodología	73
2.1	Objetivos	75
2.1.1	Objetivo general	75
2.1.2	Objetivos específicos	75
2.2	Hipótesis	77
2.3	Muestra	79
2.4	Variables	81
2.5	Instrumentos	83
2.6	Procedimiento	85
3	Resultados y desarrollo argumental	89
3.1	Resultados del análisis del cuestionario	91
3.1.1	Eficacia del ASFA Digital	91
3.1.2	Valoración de los pulsadores del pupitre	93

3.1.3	Valoración de cada uno de los pulsadores	95
3.1.4	Valoración del display del ASFA Digital	97
3.1.5	Valoración de los elementos del display	97
3.1.6	Valoración de la acústica	106
3.1.7	Valoración de los elementos del panel repetidor	108
3.1.8	Valoración de la conducción en modo degradado	115
3.2	Análisis de los rebases de señal	119
4	Conclusiones finales	121
4.1	Conclusiones	123
4.2	Recomendaciones	131
5	Referencias bibliográficas	133
6	Anexo	163
6.1	Anexo 1. Cuestionario ASFA Digital	165

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los sistemas de transporte profesional y en especial el ferroviario, tienen entre otros, la misión prioritaria de hacer su uso lo más eficaz y seguro posible. Ya no hay dudas que el primer atributo de calidad del ferrocarril es la seguridad, por tanto, gran parte de las intervenciones deben dirigirse hacia la prevención de los accidentes, no sólo con el fin de minimizar los costes directos del propio siniestro, sino para evitar el grave impacto que estos tienen dentro de la organización y especialmente por el fuerte deterioro que pueden ocasionar en la imagen social de la empresa, que se ha constatado suponen un coste diez veces mayor que los directos (Toledo-Castillo, 2007).

El tren es uno de los medios de transporte más seguros comparado con otros medios de transporte de viajeros. Según la Unión Internacional de Ferrocarriles, la siniestralidad es 190 veces mayor en la carretera que en el transporte ferroviario (Citado en Recoder, 2010). A pesar de ello cuando ocurren accidentes ferroviarios tienen una enorme repercusión

mediática y un gran impacto emocional como cualquier otro accidente de masas, nadie duda en calificarlos como auténticas catástrofes (Karlehagen, Malt, Hoft, Tibell, Herrtromer, Hildingson, & Leymann, 1993; Malt, Karlehagen, Hoff, Herrtromer, Hildingson, Tibell, & Leymann, 1993; Vaughan, 2000), como es el caso de los accidentes ferroviarios en España de Torredembarra (2002) y Chinchilla (2003).

El accidente se define como el resultado final de un proceso en el que se encadenan diversos eventos, condiciones y conductas. Los factores que desembocan en un accidente ferroviario surgen dentro de la compleja red de interacciones entre el tren, el estado de la vía, la normativa y señalización, la regulación externa, la gestión de la seguridad, la supervisión y, finalmente, el comportamiento del maquinista y la situación de sus capacidades psicofísicas. A la hora de analizar la causalidad de los accidentes, se deben buscar factores causales. Esto implica que el análisis no debe circunscribirse a una parte del sistema o a un subsistema sino que se ha de analizar el accidente bajo una perspectiva globalizadora abarcando los distintos subsistemas, la relación mutua entre ellos y el sistema en su conjunto, considerando el accidente como un síntoma de disfuncionamiento del proceso productivo normal (Toledo-Castillo, Lloret-Catalá, Figueres-Esteban, & Sospedra-Baeza, 2008; Toledo-Castillo, 2010).).

Las políticas de seguridad ferroviaria parten del análisis de los accidentes ocurridos, con el fin de diseñar y elaborar posibles medidas de seguridad destinadas a evitar accidentes similares en el futuro, o a minimizar las consecuencias de los mismos en caso de que vuelvan ocurrir. Este análisis permite detectar tendencias en términos de frecuencia (fecha, lugar, naturaleza de cada accidente) y consecuencias de los

accidentes (Evans, 1997, 2000, 2002; Farrington-Darby, Pickup & Wilson, 2005; Farrington-Darby, Wilson & Norris, 2005; Toledo-Castillo, 2011).

La definición de un sistema ferroviario, es decir, determinar que partes lo componen y como interrelacionan entre sí, no es nada sencillo. Si consideramos las especificaciones técnicas de interoperabilidad (ETI's) relativas al sector ferroviario de la Comisión Europea (Comisión Europea 2006, 2007, 2008a, 2008b, 2008c), un sistema ferroviario es aquel que está compuesto, en un primer nivel de jerarquía, por los subsistemas: material rodante; infraestructuras; explotación ferroviaria; mando, control y señalización; y energía. Este sistema es extremadamente complejo debido fundamentalmente al gran número de puntos frontera que existen entre los subsistemas del mismo, y a que existen factores totalmente transversales a ellos como es la seguridad. Es por ello, que el diseño de un nuevo sistema o la modificación de uno existente debe cumplir una serie de requisitos que garanticen la seguridad no del propio subsistema, sino de todos aquellos con los que interactúa.

Dentro de este enfoque sistémico del ferrocarril, no hay que olvidar que muchos subsistemas son utilizados por personas, y por tanto vulnerables en caso de error humano (Rahimi & Meshkati, 2001; Railtrack, 2000). De hecho, los estándares vigentes de especificaciones técnicas de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad (RAMS, 2005) en el entorno ferroviario, indican que es imprescindible realizar un análisis del factor humano que interviene en el diseño o modificación de los subsistemas ferroviarios. Kinnersley & Roelden (2007) indican que el 60% de los accidentes ferroviarios están asociados al desarrollo y diseño de sistemas

que es, en última instancia, el que interactúa con el operador humano.

Dentro del subsistema de mando, control y señalización se encuentran los sistemas de protección del tren, cuya función es ayudar al maquinista en la conducción del tren y detenerlo en caso de actuación incorrecta. El subsistema embarcado de un sistema de protección posee la principal función de ofrecer al maquinista información de las condiciones de señalización lateral de vía, requiriéndole un determinado tipo de actuación para supervisar la conducción. Por ello, la definición funcional bajo criterios de seguridad y el diseño ergonómico del interfaz hombre-máquina son tareas de especial relevancia en el ciclo de vida del dispositivo.

En España, Renfe Operadora y Adif, en el año 2005, iniciaron un proyecto de investigación con el objetivo de mejorar el sistema de protección ASFA (Anuncio de Señales y Frenado Automático). En este estudio en el que participaron Invensys Rail Dimetric, Ineco Tifsa y la Universidad de Valencia, se desarrollaron las especificaciones técnicas y funcionales del sistema embarcado ASFA Digital.

La colaboración de la Universidad de Valencia, consistió fundamentalmente en la realización del diseño ergonómico del subsistema de presentación de indicaciones desde la perspectiva de la ergonomía cognitiva, determinando las características concretas de los distintos elementos implicados en la interacción hombre-máquina para minimizar la probabilidad del error humano (Liao & Moraly, 1993; Schneider & Fisk, 1983; Schneider & Shiffrin, 1977)

En el 2007 se instalaron los primeros equipos ASFA Digital en las locomotoras de la red ferroviaria española. Transcurridos cinco años desde la instalación de los primeros

equipos embarcados, la presente tesis es un estudio de validación del diseño ergonómico del subsistema de presentación de indicaciones del dispositivo ASFA Digital instalado en todas las cabinas de conducción de los trenes españoles que circulan por la Red Ferroviaria de Interés General de España.

1.1. La seguridad ferroviaria y el factor humano

La apertura del mercado ferroviario a nivel europeo y la necesidad de conseguir una mayor armonización de la interoperabilidad y la seguridad ferroviaria (Comisión Europea, 2001, p. 14) ha ocasionado un rápido desarrollo de un marco reglamentario específico de la seguridad para el sector ferroviario. En la última década, se han elaborado bases de datos estadísticas comunitarias (Eurostat o ERADIS) donde se recogen los principales accidentes ferroviarios de los Estados Miembros. Un análisis pormenorizado de los accidentes en el ámbito del ferrocarril revela que la mayor parte de los accidentes de tren se producen por errores humanos (Baysari, McIntosh & Wilson, 2008; Evans, 2011; Wright & Van der Schaaf, 2005).

En España, según datos de Adif en el momento de iniciar el estudio del ASFA digital, durante el período 2000-2004, los accidentes más importantes fueron debidos a actuaciones de terceros (24,82%), seguidos de fallos humanos (13,44%). Del total de fallos humanos, en el 43,51%, hubo algún error en la actuación del maquinista, por ello, resulta evidente que en el marco propio de la explotación ferroviaria, es decir, sin considerar las actuaciones de terceros, las estrategias de prevención dentro de la gestión de la seguridad (Briem, De Lima & Siotis, 2007) deben asentarse en la reducción del error humano, detectando dicho error de antemano para minimizar las consecuencias del mismo (Cacciabue, 2005).

En este marco, nos interesamos por un tipo específico de actividad humana: la conducción de trenes; y por una forma específica de interacción hombre-máquina: la que el maquinista establece con los dispositivos de información y control de los que depende el manejo del tren. Cada vez se presta mayor

atención al diseño de la cabina de conducción (pupitre de control, dispositivos de información, controles, etc.), para garantizar que los maquinistas respondan de modo seguro y eficaz a los numerosos requisitos de la tarea, en condiciones que no vayan en detrimento de su salud, su comodidad, su seguridad y la de los pasajeros (Carey, 1992; Mack, Broadbent, Miller & Bell, 2004; Sagot, Gouin & Gomes, 2003).

La conducción y regulación de trenes es una actividad sumamente compleja en la que intervienen más de 35.000 acciones posibles (Toledo-Castillo, 2007), fundamentada en la recepción, procesamiento de la información, evaluación, realización, toma de decisiones y ejecución de la tarea. Por tanto, el sujeto encargado de dicha actividad debe poseer una serie de aptitudes que le permitan el correcto aprendizaje y la adecuada ejecución de la tarea. En este sentido, han sido numerosos los esfuerzos y los medios destinados a identificar dichas aptitudes así como la investigación orientada a conseguir una mejora de las mismas mediante la aplicación de una serie de estrategias de carácter instructivo-formativo (Clarke, 1996, 1998, 1999; Navon & Gopher, 1979).

Una gran variedad de técnicas y modelos se han desarrollado para la identificación y clasificación del error humano, tales como Technique for Human Error Rate Prediction (THERP), Human Hazard and Operability Study (Human HAZOP), Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach (SHEPRA), Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM), the Technique for the Retrospective and Predictive Analysis of Cognitive Errors (TRACEr), y Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) (Baysari, McIntosh & Wilson, 2008).

En 2006, Reinach & Viale (2006a) adaptan la técnica HFACS a los accidentes e incidentes ferroviarios (HFACS-RR), considerando factores externos, organizacionales, de supervisión, las circunstancias previas del operador humano y la propia acción del mismo (figura 1).

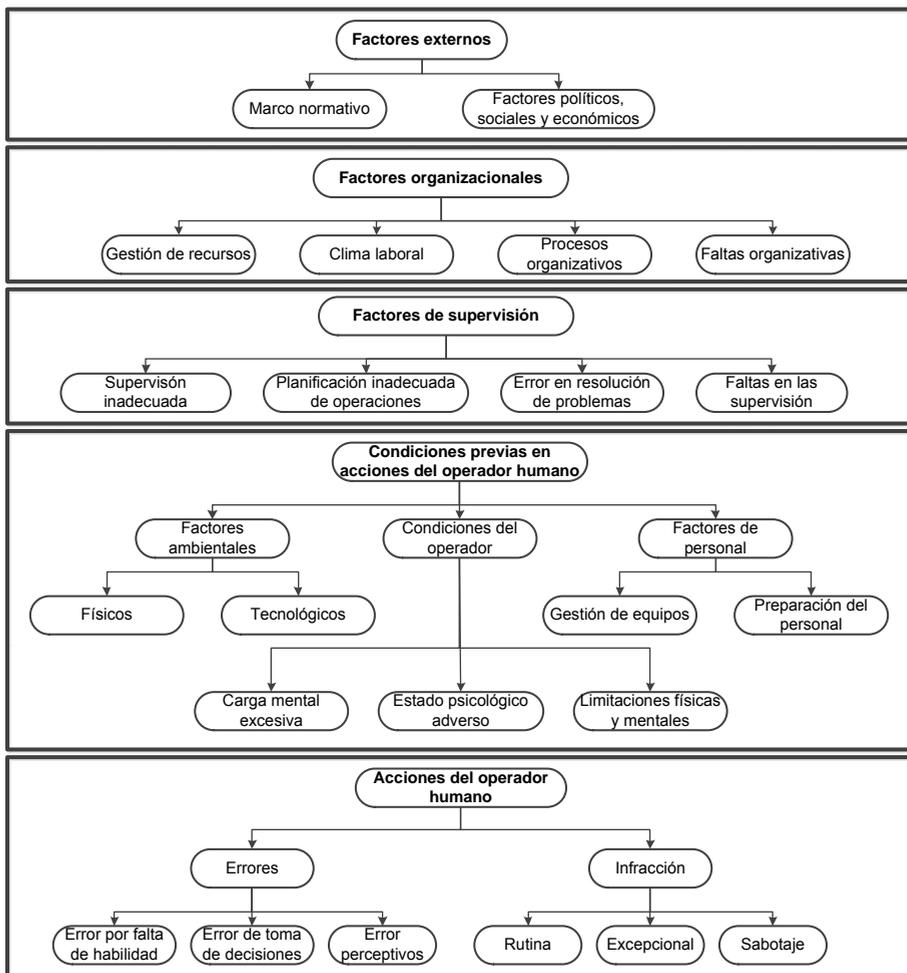


Figura 1. Taxonomía HFACS-RR (Reinach & Viale, 2006a)

Independientemente de la taxonomía utilizada, las investigaciones sobre la identificación del error humano

subrayan que son el funcionamiento inadecuado del proceso atencional (falta de atención en señales) y los lapsus de memoria del maquinista los factores que están mayoritariamente implicados en los tipos de incidentes y accidentes ferroviarios investigados (Baysari, Caponecchia, McIntosh & Wilson, J., 2009; Baysari, McIntosh, & Wilson, 2008; McDonald & Hoffman, 1991; Reason, 1990; Reinach & Viale, 2006b; Stanton & Walker, 2011).

La atención sostenida o vigilancia durante la ejecución de la tarea constituye un problema bien conocido en el ámbito del ferrocarril (Endo & Kogi, 1975; Hancock & Warm, 1989; Warm, 1984). La tarea de conducción de trenes requiere que el conductor permanezca constantemente alerta, bajo condiciones de monotonía, y que responda de forma inmediata a señales críticas irregulares (Becker, Warm, Denver & Hancock, 1991; Belenky, 1997; Endo & Kogi, 1975; Mackie, 1987; Toledo-Castillo, Sospedra-Baeza, Figueres-Esteban, Lloret-Catalá & Hidalgo-Fuentes, 2008; Toledo-Castillo, Sospedra-Baeza, Figueres-Esteban, Lloret-Catalá & Hidalgo-Fuentes, 2009).

Muchos descuidos y lapsos se deben precisamente a fallos en las inspecciones atencionales, a la omisión de una inspección necesaria (como el caso en que el maquinista no ve una señal temporal) o por hacer una inspección atencional en un momento inapropiado dentro de una secuencia de acción automática. Debido a que la tarea es altamente rutinaria es necesario invertir la misma cantidad de energía atencional que la que se reservaría para un estímulo poco familiar. Asimismo, el ambiente en el que tienen lugar estas conductas es extremadamente familiar y las acciones de control utilizadas para conducir el tren han sido muy practicadas, son repetitivas y, por tanto, están altamente mecanizadas (Branton, 1979).

Hilderbrandt, Rohmert & Rutenfrantz (1975) encontraron que la tarea monótona del conductor de tren puede tener como resultado la disminución de la alerta, fundamentalmente cuando están fatigados, lo que hace que también sea necesario considerar la influencia de la fatiga en la atención (Adams-Guppy & Guppy, 2003; Åhsberg, 1998; Akerstedt, 1998; Butrej, 1997; Coplen & Sussman, 2000; Fletcher & Dawson, 1998, 2001; Georgiev, Mezхова, Morozov, & Reikhart, 2000; Gillis, 2007; Gillberg & Rogers, Spencer & Stone, 1999; Gouin, Sagot & Roussel, 2001; Lal & Craig, 2001; Roach, Dorrian, Fletcher, & Dawson, 2001, Toledo-Castillo, Sospedra-Baeza et al., 2008).

En este sentido, Scerbo, Freeman, Mikulka, Schoenfeld, Eischeid, Krahl, Stark, & Parasuraman (1999) subrayan la importancia de los estados peligrosos de conciencia (hazardous states of awareness, HSA) en los sistemas automatizados, describiéndolos como “estados de la mente que son potencialmente peligrosos cuando los operadores de los sistemas hombre-máquina llevan a cabo actividades habituales durante grandes períodos de tiempo de forma rutinaria”. De ahí la importancia de considerar la ergonomía cognitiva en el diseño de cualquier interfaz hombre-máquina con el objetivo de minimizar los errores humanos en la conducción automatizada.

1.1.1. Sistemas de protección del tren

Un sistema de protección automático de tren se define como aquel que indica en cabina información del aspecto de las señales laterales y de la velocidad máxima del tramo para facilitar la conducción, y que controla la velocidad del tren y las actuaciones del maquinista, activando el frenado de emergencia en caso de detectar situaciones irregulares en la conducción y

de este modo evitar situaciones de peligro o minimizar sus consecuencias.

En Europa, cada país ha desarrollado su propio sistema de protección automático según su señalización ferroviaria (ATB, BACC, Crocodile, PZB, LZB, SELCAB, AWS/TPWS, TVM, ZUB, LS...), diferenciándose esencialmente por el tipo de conectividad que poseen entre la vía y el material rodante (inducción, radio,...) y el control de la velocidad que realizan (puntual o continuo).

Con la apertura de los mercados europeos y la instauración de redes trans-europeas se deben definir las condiciones y requisitos esenciales que garanticen la interoperabilidad de la red ferroviaria europea. Con este objetivo se desarrolla el sistema europeo de gestión del tráfico ferroviario (ERTMS) compuesto esencialmente por un sistema de control de tren (ETCS) y un sistema de comunicaciones (GSM-R), y que debe ser implantado progresivamente en cada uno de los países de la Comunidad Europea (figura 2).

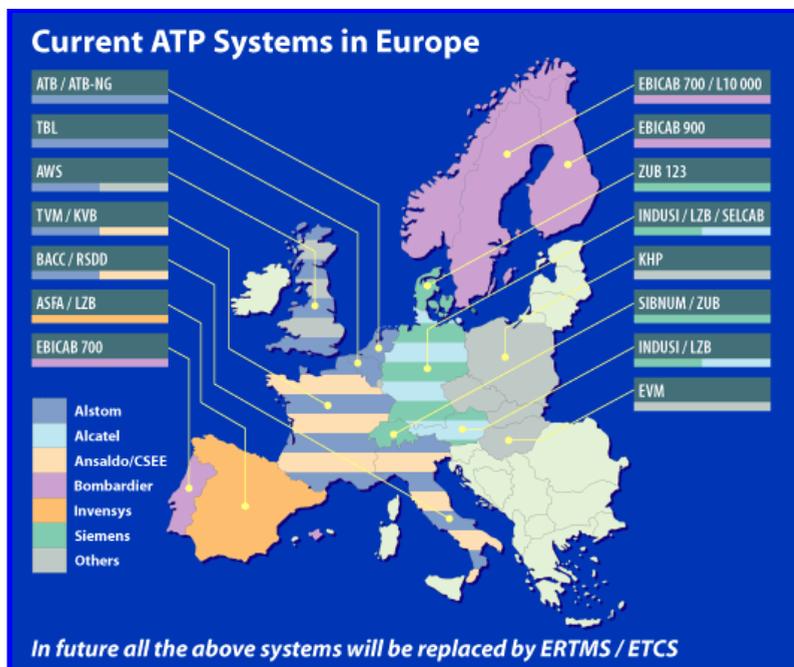


Figura 2. Integración del ERTMS con los sistemas nacionales de protección automática de tren (Turro, M., 2004).

En España, coexisten diferentes sistemas de protección automáticos de tren (ASFA / ASFA Digital, ATP y LZB/SELCAB) en la Red Ferroviaria de Interés General, siendo además país pionero en el desarrollo y validación del sistema ERTMS en líneas de alta velocidad (Tamarit, 1998).

En el eje del corredor mediterráneo está implantado el sistema ATP (protección automático de tren), técnicamente denominado EBICAB 900 TBS (figura 3), y que está compuesto por un equipo de vía (balizas) y un equipo embarcado (captador y panel repetidor).

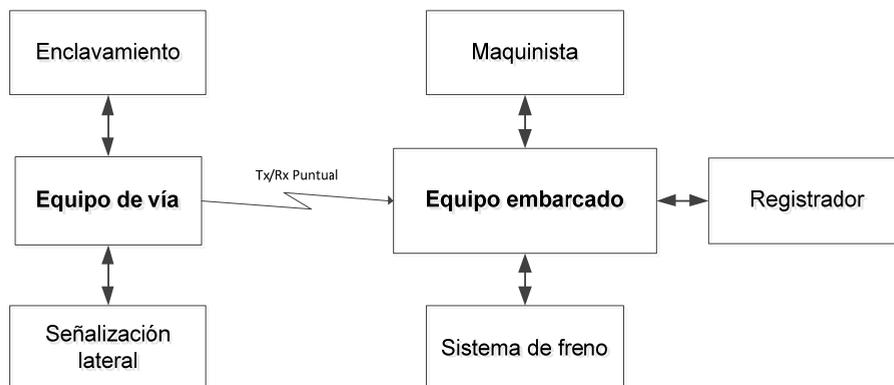


Figura 3. Sistema EBICAB 900 (ATP)

El EBICAB 900 TBS permite circular a 220 km/h, transmitiendo información al tren puntualmente al paso por la baliza y supervisando la velocidad del mismo. El maquinista recibe fundamentalmente indicaciones visuales y acústicas del límite de velocidad, velocidad objetivo y exceso de velocidad. En caso de que se exceda el límite de velocidad y no se responda a los avisos acústicos, el sistema activará el frenado automático del tren.

En la línea de alta velocidad Madrid-Sevilla se implementó como sistema de protección el LZB (sistema de transmisión continua) y como extensión el SELCAB, siendo este último un sistema ATC (control automático de tren). El sistema consta de equipo de vía para la transmisión continua de información al tren (mediante cable radiante) y de un equipo embarcado que da principalmente indicaciones visuales del estado de la transmisión de datos, la velocidad máxima permitida, la velocidad real del tren, la velocidad objetivo y la distancia hasta el mismo. En caso de exceso de velocidad el sistema aplica freno de emergencia (figura 4).

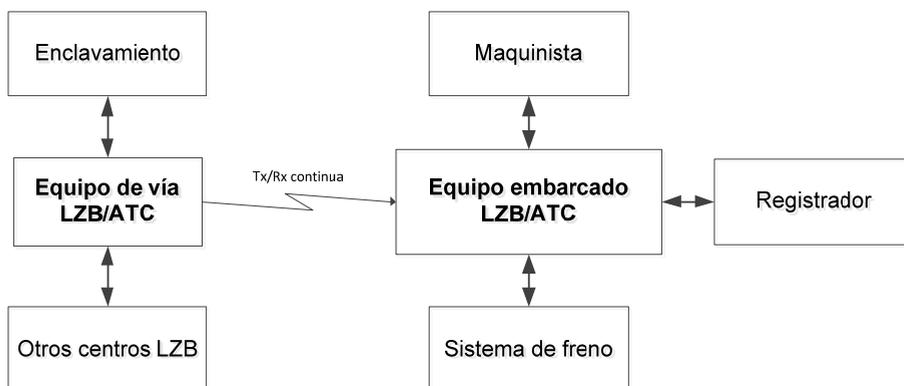


Figura 4. Sistema LZB con extensión ATC

La línea Madrid-Zaragoza-Barcelona es la de mayor longitud de Europa dotada con sistema ERTMS (621 km), siendo pioneros en la implantación del Nivel 2 en la línea Madrid-Lleida (primera fase). El ERTMS es un sistema complejo que necesita de varios niveles de funcionamiento para implantarse gradualmente. En primer lugar, necesita de un módulo básico de adaptación para poder coexistir y circular con los sistemas automáticos nacionales de cada país. Este modo de funcionamiento, comúnmente denominado Nivel STM (módulo de transmisión específico), permitirá utilizar el interfaz hombre-máquina (DMI) del ERTMS (figura 5) pero con el equipo de vía del sistema de señalización propio del país, que en España es el ASFA/ASFA Digital.

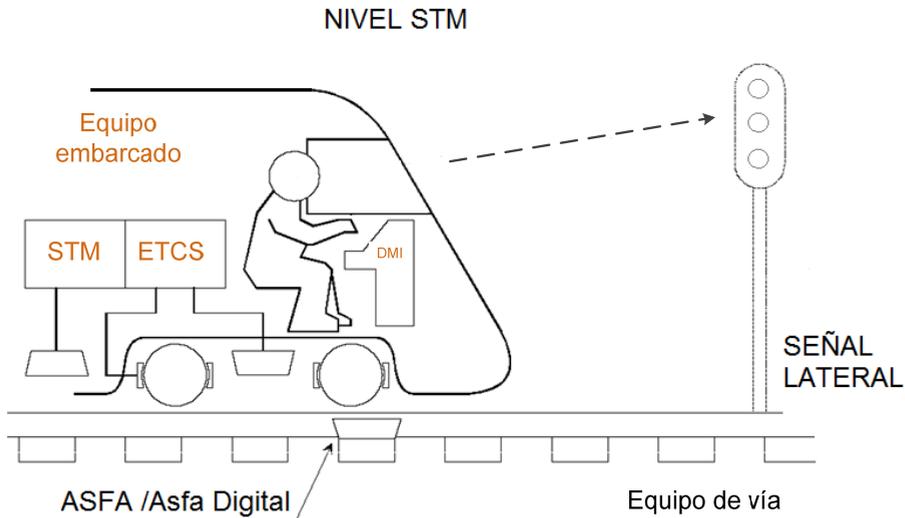


Figura 5. Sistema ERTMS – Nivel STM

El ERTMS Nivel 1 (figura 6) emplea señalización lateral, dispositivos de detección de ocupación para determinar la ubicación del tren (circuitos de vía) y unidades de comunicación con los enclavamientos (LEU). La información de vía se transmite al equipo embarcado de forma puntual mediante eurobalizas, reflejando en pantalla indicaciones de velocidad. El maquinista debe ir atento a la señalización lateral, y en caso de actuar incorrectamente, se producirá el frenado automático del tren.

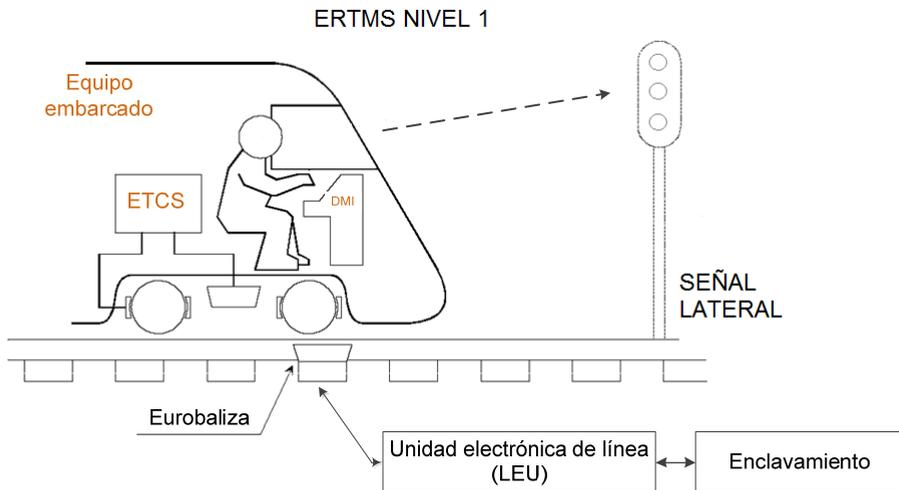


Figura 6. Sistema ERTMS – Nivel 1

El ERTMS Nivel 2 (figura 7) permite prescindir de la señalización lateral ya que cuenta con un sistema de transmisión continua vía radio (GSM-R) para el bloqueo, unidades de detección de ocupación (circuitos de vía) y eurobalizas para la corrección de la posición al paso de las mismas. El maquinista únicamente actúa por la información recibida en pantalla.

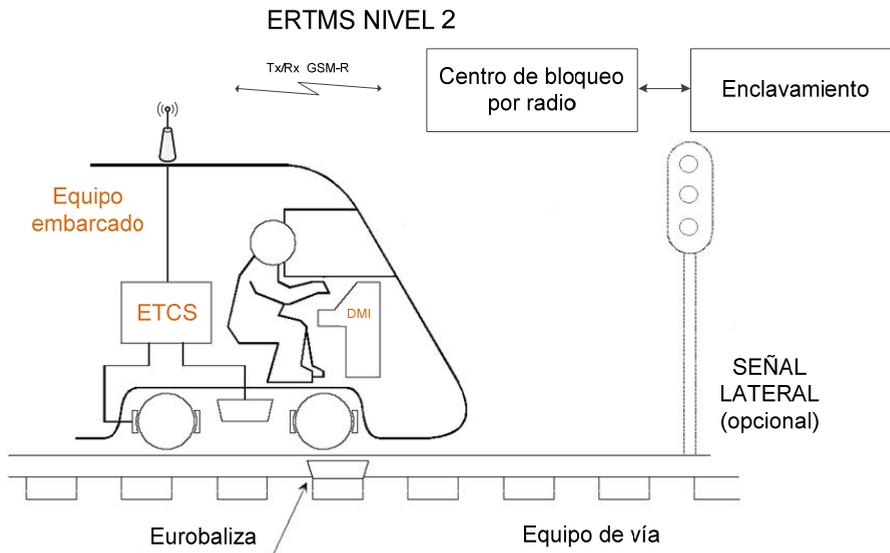


Figura 7. Sistema ERTMS – Nivel 2

El ERTMS Nivel 3 (figura 8) permite eliminar la señalización lateral y los circuitos de vía, empleando únicamente la señalización en cabina recibida por el centro de bloqueo por radio (GSM-R). Como se conoce la ubicación exacta por radio, utilizando la información fija de las eurobalizas como sistema corrector, se sustituye el bloqueo por cantón fijo de los Niveles 1 y 2 por el cantón móvil, es decir, el cantón se desplaza conforme se detecta el movimiento del tren, alcanzando niveles de ocupación de vía mucho mayores.

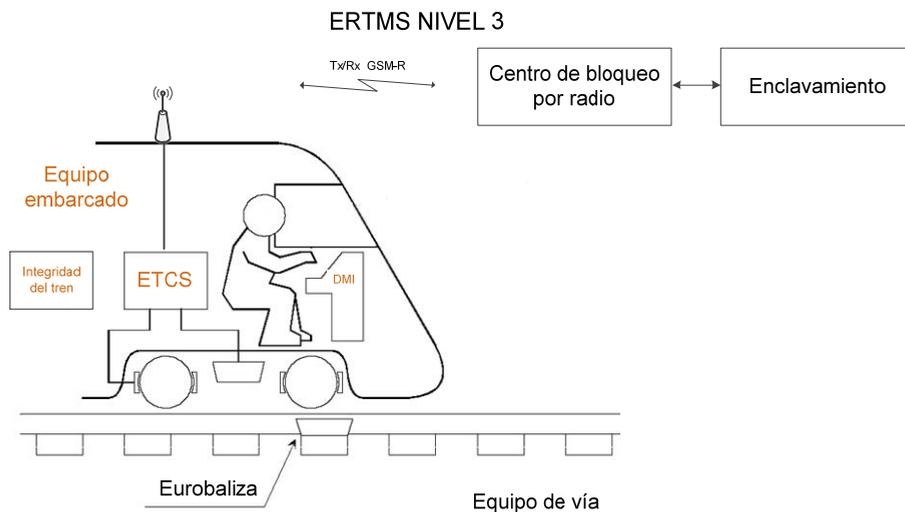


Figura 8. Sistema ERTMS – Nivel 3

Por último, el sistema de señalización y protección automático de trenes implantado en la mayor parte de la Red Ferroviaria de Interés General, es el sistema de Anuncio de Señales y Frenado Automático (ASFA) (figura 9). Está compuesto por equipo de vía (balizas y una unidad de control que enlaza con la señalización lateral) y el equipo embarcado (captador y panel repetidor en cabina). Es un sistema de transmisión puntual de información del estado de la señal al paso por la baliza avanzada y de señal, frenando el tren en caso de que el maquinista no haya adecuado la velocidad del tren a la que impone la señal.

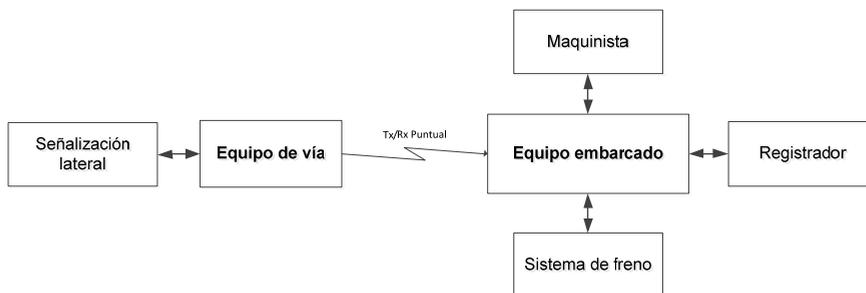


Figura 9. Sistema ASFA

Los diferentes sistemas de protección automáticos de tren que se utilizan en España poseen diferentes dispositivos de información visual y mandos de control para transmitir la información procesada de los equipos de vía. Debido a que un mismo tipo de material rodante puede circular en líneas con diferentes sistemas automáticos de protección, se han compatibilizado los sistemas según diferentes modos de conducción, compartiendo los dispositivos de control en cabina (tabla 1).

Sistema automático de protección: ASFA	
Mandos de control	
<p>Panel de control</p> <p>Pulsador de reconocimiento</p>	<p>Display: No dispone.</p> <p>Indicaciones acústicas: un único tono sin posibilidad de modificar su intensidad.</p>
<p>Panel de control</p> <p>Pulsador de reconocimiento</p>	

Sistema automático de protección: ATP		
Mandos de control		<u>Display:</u>
 <p>Indicador de velocidad meta</p> <p>Indicador de distancia objetivo</p> <p>Panel de control</p>		 <p><u>Indicaciones acústicas:</u> un único tono sin posibilidad de modificar su intensidad.</p>
Sistema automático de protección: LZB/ATC		
Mandos de control		<u>Display:</u> no dispone.
 <p>Indicador de distancia objetivo</p> <p>Indicador de velocidad límite, meta y real</p> <p>Pulsadores</p> <p>Panel de control</p>		<p><u>Indicaciones acústicas:</u> un único tono sin posibilidad de modificar su intensidad.</p>
Sistema automático de protección: ERTMS		
Mandos de control	<p><u>Display</u> DMI</p> 	<p><u>Indicaciones acústicas:</u> Utiliza diferentes tonos según funcionalidad del sistema (tono de feedback, tono de aviso, tonos sobrevelocidad,...). Control de volumen limitado.</p>
Integrados en el display		

Tabla 1. Sistemas automáticos de protección

1.1.2. Sistema de anuncio de señales y frenado automático (ASFA)

El sistema ASFA es un sistema de señalización y al mismo tiempo de protección automática de tren instalado en la mayor parte de la red ferroviaria española hasta el 2007. Su principal función es reproducir en cabina las indicaciones de señalización de vía, exigiendo al maquinista una determinada actuación, activando el frenado automático en caso de detectar una conducción irregular. Se compone por dos subsistemas claramente diferenciados, el equipo de vía y el equipo embarcado (figura 10).

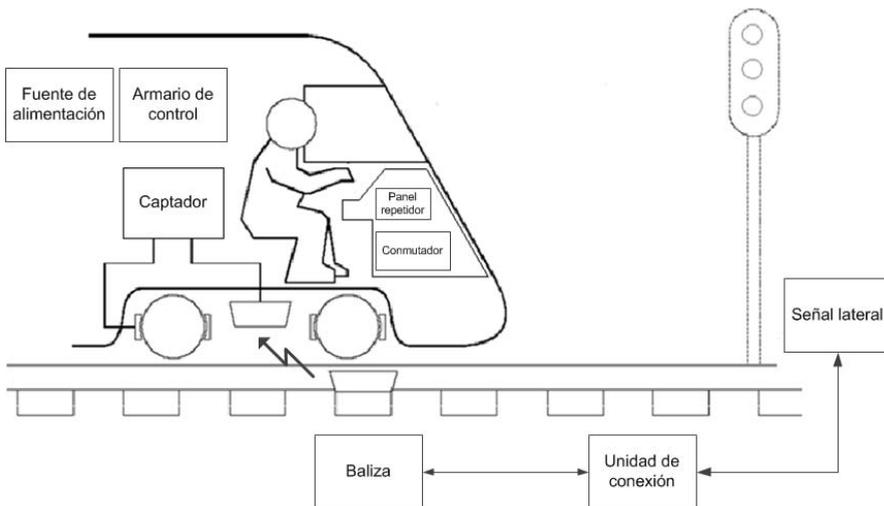


Figura 10. Subsistemas ASFA

El equipo de vía se compone de los siguientes elementos:

- Balizas: son dispositivos capaces de transmitir información a través de un conjunto de frecuencias, de L1 a L8. Existen dos tipos de balizas:

- conmutables: son aquellas balizas capaces de transmitir más de una información, en función del aspecto de la señal a la cual están asociadas. La conmutación de dicha información se realiza por medio de las Unidades de Conexión. Las balizas ASFA responden a un diseño “fail-safe” o de seguridad intrínseca: cualquier avería, bien en el interior de la baliza, bien en los propios cables de conexión a la Unidad de Conexión (p.ej. cortocircuitos o roturas de cable), transmiten a bordo del tren una información más restrictiva que la correspondiente al aspecto real de la señal. Hay tres tipos de balizas cuya información puede conmutarse:
 - Balizas con fondo L8: pueden conmutar a L1, L2 y L3 (imagen 1).
 - Balizas con fondo L7: pueden conmutar a L1, L2 y L3.
 - Balizas con fondo doble: fondo L1 convertible a L7.
- fijas: son aquellas balizas capaces de transmitir una frecuencia. Existen seis tipos diferentes, capaces de transmitir L1, L2, L3, L5, L7 y L8.
- Unidades de conexión: son las que realizan la conexión entre la señalización lateral y la baliza.



Imagen 1. Baliza ASFA (tipo fondo L8)

El equipo embarcado se compone de los siguientes elementos:

- Captador: encargado de procesar las señales de la balizas.
- Armario de control: donde se integran los módulos electrónicos que realizan la funciones de protección e indicación.
- Panel repetidor: interfaz que interactúa con el maquinista.
- Fuente de alimentación: encargada de alimentar todos los subsistemas del equipo embarcado.
- Combinador general: elemento para la conexión, desconexión, anulación o selección del tipo de tren.

El sistema protege señales intermedias, de paso a nivel, avanzadas, de entrada, de salida y, en algunos casos, de entradas a contravía. Las señales laterales asociadas a una frecuencia del sistema (tabla 2) son:

				
Vía libre	Anuncio de precaución	Preanuncio de parada	Anuncio de parada	Anuncio de parada inmediata
				
Parada	Rebase de señal autorizado	Paso a nivel protegido	Paso a nivel sin protección	Anuncio de velocidad limitada

Tabla 2. Señales laterales asociadas al ASFA

El panel repetidor del sistema ASFA está formado por los siguientes pulsadores e indicadores (figura 12):

- CONEX: interruptor de conexión del panel repetidor.
- Luz verde intermitente: paso por señales en verde intermitente.
- Luz roja: indicación de parada o indicación de que la velocidad del vehículo es superior a la de control. En ambos casos se produce la actuación del freno de emergencia.
- FRENAR: indicador amarillo que anuncia el paso por señales en amarillo o amarillo/verde. Indica precaución o anuncio de parada.
- VL: indicador amarillo que anuncia velocidad limitada. Cuando se enciende hay que pulsar el pulsador REC

antes de 3 segundos, de lo contrario se producirá la actuación del freno de emergencia.

- CV (Pendiente): indicador amarillo que indica al maquinista que mientras esté encendido no debe pasar por la siguiente baliza.
- EFICACIA: cuando está encendida, indica que el equipo está dispuesto para recibir las informaciones que le proporcionan las balizas situadas en la vía.
- REC: pulsador e indicador amarillo, de reconocimiento. Cuando se enciende debe pulsarse antes de 3 segundos, de lo contrario se producirá un la actuación del freno de emergencia.
- ALARMA: es un pulsador con indicador rojo, que se enciende cuando no se respeta el orden establecido para la puesta en marcha.
- REARME FRENO: es un pulsador rojo que es efectivo cuando está encendido, (tren con velocidad inferior a 5 Km/h.), después de una frenada de emergencia "ASFA". Pulsando quedará libre el tren de toda restricción por "ASFA" y cesarán las indicaciones ópticas y acústicas.
- REBASE AUTO: Cuando se autoriza el rebase de una señal en rojo, se ha de pulsar el interruptor REBASE AUTO para evitar la actuación del freno de emergencia, y efectuar el rebase en un tiempo no superior a 10 segundos.
- (((·))) : Zumbador que realiza la indicación acústica que acompaña cualquiera de las situaciones anteriores. Es de un único tono e intensidad.

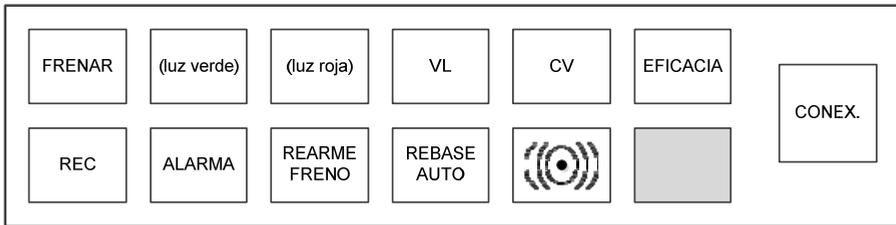


Figura 12. Panel repetidor del ASFA

La relación entre la señalización lateral, las indicaciones del panel repetidor y la actuación del maquinista se resumen en la tabla 3.

Tipo señal	Indicaciones		Actuación
	Acústica	Óptica	
<ul style="list-style-type: none"> Via libre PN protegido Via libre condicional (ASFA 160) 	Pitido 0'5 s		
<ul style="list-style-type: none"> Via libre condicional (ASFA 200) 	Pitido continuo	<ul style="list-style-type: none"> Se enciende visor blanco (verde intermitente) Se enciende el pulsador de reconocimiento (amarillo continuo) 	<ul style="list-style-type: none"> Reconocimiento antes de 3 s. Reducir velocidad a 180 Km/h antes de 18 s, y a 160 Km/h 11 s después No sobrepasar los 160 Km/h
<ul style="list-style-type: none"> Anuncio precaución Preanuncio de parada Anuncio de parada PN sin protección Anuncio parada inmediata Parada diferida Anuncio temporal velocidad limitada (líneas <160 y >160) 	Pitido continuo	<ul style="list-style-type: none"> Se enciende visor frenar (amarillo continuo) Se enciende pulsador de reconocimiento (amarillo continuo) 	<ul style="list-style-type: none"> Reconocimiento antes de 3 s. No sobrepasar los 160 Km/h
<ul style="list-style-type: none"> Parada o rebase autorizado (Baliza previa) 	Pitido 3 s	<p>Cumple velocidad</p> <ul style="list-style-type: none"> Se enciende visor blanco (rojo continuo) durante 10 s. 	<p>Se cumple si el maquinista:</p> <ul style="list-style-type: none"> No excede 60 Km/h en vehículos sin selector Con selector, no excede <ul style="list-style-type: none"> Posición 1: 60 Km/h Posición 2: 50 Km/h Posición 3: 35 Km/h
	Pitido continuo	<p>No cumple velocidad</p> <ul style="list-style-type: none"> Se enciende visor blanco (rojo continuo). Se enciende pulsador de rearme de freno. 	Frenado automático
<ul style="list-style-type: none"> Parada o rebase autorizado (Baliza señal) 	Pitido 3 s	<p>Rebase autorizado</p> <ul style="list-style-type: none"> Se enciende visor blanco (rojo continuo) durante 10 s. 	<ul style="list-style-type: none"> El maquinista girará la llave del conmutador o se accionará el interruptor de rebase autorizado. Se disponen 10 s para el rebase. Se colocara la llave del conmutador en su situación inicial.
	Pitido continuo	<p>Rebase no autorizado</p> <ul style="list-style-type: none"> Se enciende visor blanco (rojo continuo). Se enciende pulsador de rearme de freno. 	Frenado automático

Tabla 3. Relación entre tipo de señal lateral, indicaciones en el panel repetidor y actuación del maquinista.

1.2. La ergonomía cognitiva.

Etimológicamente, el término ergonomía proviene de las palabras griegas *ergon*, que significa trabajo, y *nomos*, que significa ley.

La ergonomía es la disciplina científica que se ocupa de la comprensión de la interacción entre los seres humanos y los demás elementos de un sistema. Se trata de una especialidad eminentemente práctica, ya que en última instancia no pretende sino la aplicación de teorías, principios, datos y métodos al diseño, para optimizar el bienestar humano y la ejecución global de un sistema (Jouvencel, 1994; Kanawaty, 1996).

Según la IEA (International Ergonomics Association) existen tres grandes ámbitos de actuación dentro de la ergonomía, que a su vez darían lugar a sendas especialidades: el físico, el cognitivo y el social. La ergonomía física se ocupa de hacer compatibles las características anatómicas, antropométricas, fisiológicas y biomecánicas con los parámetros estáticos y dinámicos del trabajo físico. La ergonomía cognitiva estudia los procesos cognitivos en el lugar de trabajo (Banyard, Cassells, Green, Hartland, Hayes, & Reddy, 1991; Fioh, 1989; Fisk & Gallini, 1989), con un interés especial en el diseño de la tecnología, la organización y los entornos del aprendizaje. La ergonomía social u organizacional, se ocupa de la optimización de los sistemas de trabajo, incluyendo las estructuras, las políticas y los procesos organizacionales, trabajando en el diseño de sistemas de comunicación, grupos de trabajo, tiempos y turnos laborales, etc. (Dul & Weerdmeester, 2001).

En Europa el origen de la ergonomía hay que buscarlo en la industria, ligándolo a un interés por mejorar la satisfacción de los trabajadores y primando los aspectos biológicos frente a los

psicológicos. Se fue configurando a través de estudios antropométricos, de medicina del trabajo, arquitectura, iluminación, e ingeniería. En la actualidad, sigue siendo una forma de ingeniería en la que se aplican los conocimientos de la psicología cognitiva (Anderson, 1995; Best, 1995; Saad, 2006; Salvendy, 2001, 2006; Santiago, Tornay & Gómez, 1999).

Un artefacto es cualquier objeto manufacturado por el hombre con la finalidad de aumentar cualquier aspecto de la conducta u operación mental humana. Los artefactos se crean para actuar sobre el ambiente, modificar algún aspecto del mismo, u obtener información que nos permita conocer sus características, y cómo nuestras acciones lo modifican.

El adjetivo “cognitiva” la vincula a la ciencia psicológica, y se refiere a la consideración de los procesos mentales, motivacionales y de aprendizaje, implicados en cualquier forma de actividad o ejecución humanas, y en particular a los factores implicados en el procesamiento de la información y respuesta a una señal (Cañas & Waerns, 2001; Card, Moran & Newell, 1983; Carr, 1980; Wickelgren, 1979; Wickens & Carswell, 1997; Wissner, 1988; Wood, 2005).

El trabajo cognitivo es llevado a cabo por los sistemas cognitivos que utilizan conocimientos para producir cambios en el ambiente o dominio de trabajo. Estos están organizados en torno a objetivos específicos incluyendo posibilidades y limitaciones (Geddie, Boer, Edwards, Enderwick, & Graff, 2001).

Uniendo ambos términos, la ergonomía cognitiva estudia las leyes o principios generales que regulan las relaciones de información y control que se establecen entre un ser humano y una máquina o dispositivo de señalización en el desempeño de un trabajo (Lillo, 2000; Wickens, 1980, 1987, 1991; Wickens,

Gordon & Liu, 1998; Wickens & Hollands, 2000 Wickens & Liu, 1988; Wilson & Corlett, 1995).

Tradicionalmente se emplea el término de ingeniería cognitiva para referirse a una ciencia cognitiva independiente donde se combinan los conocimientos de la ciencia cognitiva con las de las ingenierías para solucionar problemas de diseño, siendo su principal objetivo comprender los principios fundamentales de las acciones humanas que son relevantes para el desarrollo de principios de la ingeniería del diseño (Lindsay & Norman, 1977; Norman, 1968; Norman & Bobrow, 1975).

La ergonomía cognitiva pretende analizar cómo la información es procesada por el sistema formado por los seres humanos y los artefactos dentro de un contexto de interacción socio-técnico determinado. La interacción incluye los siguientes componentes y estados: a) estímulos pertenecientes al ambiente (input); b) procesos perceptivos (convierten el input en una representación interna para ser usada por otros procesos cognitivos); c) producción de un output que actúa sobre el ambiente y, d) el output modifica el ambiente, que también puede modificarse de forma autónoma, convirtiéndose en un nuevo input.

1.2.1. La ergonomía cognitiva y la conducción de trenes

La ergonomía cognitiva es una especialidad cuyo contexto de aplicación es muy amplio (Coleman, Macaulay, & Newell 2008; Collis & Robins, 2001; Collis & Schmid, 2001; Helander, 2006; Heras, 1996; Hill, Blanchard & Carey, 2007; Lee & Moray, 1992; Palshikar, 2001; Panero & Zelnik, 1983; Parasuraman & Riley, 1997; Tayyari & Fariborz, 1997; Williams, 2000). Se centra en el diseño o rediseño de productos relacionados con la tecnología, intentando especificar y dar recomendaciones de adaptación del diseño de los soportes de información a ciertas características del usuario (Green & Jordan, 1995). Lo que se intenta en definitiva es facilitar la adaptación de productos y entornos a las características y limitaciones psicológicas de las personas, en concreto a las capacidades de procesamiento de información. Se tienen en cuenta tres tipos de procesos psicológicos: i) Procesamiento de input perceptivo (detección, clasificación, reconocimiento de patrones, etc.); ii) Procesamiento cognitivo central (memoria, razonamiento, resolución de problemas, etc.) y, iii) Procesos perceptivo-motores (más relacionados con los sistemas de respuesta y ejecución) (Lenior, 1993).

Se consideran aspectos relacionados con la percepción de información visual y auditiva: el diseño del color y su uso en la presentación de información; la percepción y efectos del contexto en la codificación de estímulos (Ho & Spence, 2008); la atención, la ejecución en doble tarea y la compatibilidad estímulo-respuesta; la carga mental (Hacker, 1998; Lin & Hwang, 1998; Sebastián & Del Hoyo, 2002; Zeitlin, 1995); la vigilancia y asignación de funciones (Hale, Heijer & Koornneef, 2003); el aprendizaje y la ejecución habilidosa; la memoria y sus limitaciones en la ejecución de tareas complejas; el lenguaje,

lectura y comunicación hombre – máquina; la resolución de problemas, el razonamiento y los procesos de ejecución y control (Aldrich, Szabo & Bierbaum, 1988; Antin & Wierwille, 1984; Arquer, 2000; Arquer & Nogareda, 1999, 2000; Artazcoz, 2001; Austin & Carson, 2002).

Su finalidad es favorecer la usabilidad, es decir, la facilidad de uso del producto (Cañas, Quesada, Antolí y Fajardo, 2003), con el fin de reducir el esfuerzo cognitivo y los errores a la hora de usarlo (Hollnagel, 1998), procurando la automatización del proceso, mejorar el rendimiento, la productividad y eficiencia de la tarea, mejorar la seguridad y, mejorar el confort (Kirakowski, 1996; Kirwan, 1994, 2000; Konz, 1991).

La aplicación de la ergonomía cognitiva al ámbito ferroviario se ha venido desarrollando en la última década y aunque se ha aplicado con éxito (Hale et al., 2003; Holywell, 2005; Hoj & Kroger, 2002; Jansson, Kecklund, & Ingre, 2003; Kecklund, 2002; Kecklund, Olsson, Stevenson, Coleman, Long & Williamson, 2000) aun son pocos los estudios publicados sobre este tema.

En el proyecto de investigación TRAIN PROJECT (Jansson, Olsson, & Kecklund, 2005; Kecklund et al., 2003), se incluyen las siguientes recomendaciones relacionadas con el diseño ergonómico de los dispositivos de interacción hombre-máquina para minimizar el error humano:

- Que el interfaz gráfico reproduzca la estructura espacial. Desde el punto de vista del factor humano la presentación gráfica es preferible a los códigos. Si la información se presenta gráficamente, la cantidad de

información suministrada por un sistema puede ser aumentada sin aumentar la carga mental en el maquinista.

- Determinar la ubicación óptima para que la información que se le presenta al maquinista esté dentro de su campo visual.
- Proporcionar la información relevante por varios canales sensoriales, por ejemplo el empleo de alarmas automatizadas como complemento a la información visual.
- Presentar información dentro de la cabina de las señales previas y/o posteriores.
- Presentar mensajes en formato icónico y/o textual más que en formato de código.

Estas recomendaciones fueron aplicadas en un análisis ergonómico sobre la usabilidad del Sistema de Control Automático del Tren (ATC) por Olsson & Jansson (2005); utilizaron diversos métodos como estudios de campo, observación, entrevistas semiestructuradas, cuestionarios y grabaciones, con el objetivo de describir la tarea de conducción en su contexto.

1.2.2. Ergonomía aplicada al diseño de interfaces

El diseño de interfaces debe basarse en un conjunto de principios y técnicas con el objetivo fundamental de minimizar o reducir la carga cognitiva y de percepción del usuario final, es decir, que el dispositivo final sea un sistema intuitivo y sencillo.

Los principios fundamentales que se deben considerar en el diseño de una interfaz hombre-máquina son: eficacia, eficiencia y usabilidad.

El ciclo comienza con la detección de un problema, que el ergónomo deberá analizar mediante un análisis de la tarea y un análisis cognitivo del trabajo (Neerincx & Griffin, 1996). El resultado es el desarrollo de un prototipo del artefacto que debe solucionar el problema. Posteriormente se pone a prueba el prototipo, realizándose experimentos de laboratorio, simulaciones y estudios de campo con usuarios expertos, que valorarán la usabilidad del prototipo (Eggemeier & Wilson, 1991; Eggemeier, Wilson, Kramer & Damos, 1991; Hicks & Wierwille, 1979).

Las investigaciones ergonómicas generalmente se articulan en cuatro etapas:

- Análisis y diagnóstico de la situación.
- Diseño y desarrollo del prototipo basado en el usuario final.
- Experimentación (“Usability Testing”): validación del prototipo y diseño final.
- Seguimiento: validación del dispositivo.

1.2.2.1. Análisis y diagnóstico de la situación

El primer paso en todo estudio ergonómico es analizar detenidamente la tarea que se realiza a través del análisis sistemático de tareas que tiene que realizar el usuario (Hamilton & Boughton, 2004; Hamilton & Colford, 2002), y es la base fundamental para el diseño de interfaces hombre-máquina (Dalmau & Nogareda, 1997; De Waard, 1996; Derrick, 1988; Díaz, Ponsa & dalmau, 2001) de hecho, el desarrollo de los métodos de análisis de tareas está ligado al desarrollo de la ergonomía (Bi & Salvendy, 1994; Hamilton & Bierbaum, 1990; Hamilton, Bierbaum & Fulford, 1990; Hamilton & Boughton, 2004).

El fin último del análisis de la tarea en ergonomía es determinar las exigencias que ésta conlleva, que pueden ser de muy diversa índole: mentales, visuales, gestuales, posturales, auditivas, táctiles, etc., las cuales estarán más o menos presentes en función del tipo de tarea que se trate (Aarás, Fosterwold, Ro, Thorensen & Larsen, 1997; González, 2003; González, Moreno & Garrosa, 2005; Xie & Salvendy, 2000).

Para llevar a cabo un correcto análisis de tarea existen diversos métodos que pueden utilizarse para recoger la información necesaria (McCormick, 1979; McCormick, Jeanneret, & Mecham, 1972). Los más utilizados son: i) observación; ii) entrevista individual con el ocupante del puesto; iii) entrevista grupal; iv) grupo de expertos; v) cuestionarios; vi) incidentes críticos; vii) grabaciones del puesto y viii) análisis de documentación relacionada con el puesto.

La observación es la base central de la ergonomía (Mondelo & Gregori, 1996; Mondelo, Gregori & Barrau, 1998; Mondelo, Gregori, Barrau & Blasco, 2000; Mondelo, Gregori, Comas & Castejón, 1994). Observar a las personas realizando

su trabajo permite conocer la interacción de las éstas con los sistemas, diseñar interfaces, diseñar programas de formación y diseñar equipos. Se ha pasado de técnicas meramente observacionales a usar medios de grabación.

Las técnicas de entrevista han evolucionado pasando de ser discusiones más o menos informales a entrevistas estructuradas y cuestionarios (Ferrer & Dalmau, 1999, 2000 a y b, 2004; Ferrer, Dalmau, Murcia & Mondelo, 2002; Kong et al., 1995).

Los protocolos verbales surgen con el objetivo de inferir los procesos cognitivos de los individuos (Cox, Farrington-Darby, & Bye, 2007; Crabtree, Bateman & Acton, 1984; Kong et al., 1995; Kristensen, 2001). Son necesarios los informes subjetivos ya que no sólo hay que analizar las variables externas sino también tener en cuenta las consideraciones que haga el usuario (Kilmer, Knapp, Bursal, Borrensen, Bateman, & Malzahn, 1988).

Para realizar un correcto análisis y diagnóstico de la situación de manera que la información sea válida, se debe utilizar más de una técnica: los informes verbales deben ser complementados con estudios de observación, técnicas objetivas de recogida de datos e incluso técnicas de simulación para poder identificar las posibles respuestas del sistema, analizar incidentes críticos, y explorar con profundidad las situaciones de error (Ryan, Wilson, Sharples, Morrisroe & Clarke, 2009; Ryan, Wilson, Sharples & Clarke, 2009).

Una parte importante del análisis del puesto está relacionada con el análisis ergonómico del puesto de trabajo (Grabarek, 2002). Consiste en analizar las distintas posturas que adopta el trabajador durante la realización de la tarea

(Aarás et al., 1997; Lillo, 1999; Pheasant, 1996). Una de las técnicas más utilizadas es filmar en video en distintos momentos de su jornada laboral para identificar previamente los riesgos ergonómicos (ISTAS, 2004). Uno de los métodos más utilizados es el REBA (Rapid Entire Body Assessment) desarrollado por Hignett y McAtamney (2000), que fue traducido por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo en su Nota Técnica de Prevención número 601 (Nogareda, 2003).

Este método consiste en codificar las posturas de las distintas partes del cuerpo obteniendo un resultado para el conjunto tronco, cuello y piernas y otro para brazo, antebrazo y muñeca, pudiendo este último clasificarse para la extremidad derecha o izquierda, añadiendo a cada uno de los códigos resultantes un nuevo código correspondiente al esfuerzo realizado. Tras esto, los dos códigos resultantes se llevarán a una nueva tabla consiguiendo un nuevo código al que se le sumará en su caso el valor de la actividad, estática o repetitiva, significando este resultado el nivel de riesgo de lesión músculo-esquelética para cada una de las posturas adoptadas y analizadas.

1.2.2.2. Diseño y desarrollo del prototipo basado en el usuario final

El objetivo fundamental de la ergonomía cognitiva es el diseño de un interfaz hombre-máquina eficaz. Los dispositivos informativos ubicados en cualquier sistema suelen ser de naturaleza visual o auditiva (Castro, Sospedra-Baeza, & Figueres-Esteban, 2006; Toledo-Castillo, Castro, & Lloret-Catalá, 2006). Los indicadores visuales no sólo dependen de la percepción visual del operario, sino también de las condiciones

externas que configuran el espacio de trabajo, y que interfieren en el proceso de captación de la información visual (Kenneth, Kaufman & Thomas, 1986). El objetivo de un buen diseño es permitir que se pueda reconocer sin error la información que se presenta, en un tiempo adecuado y sin fatigarse; por ello es muy importante considerar en el diseño las características del usuario final y las características del contexto en el que se desarrolla la tarea (Bunce & Sisa, 2002; Coren & Ward, 1989; Cotterill & Jones, 2005; Fraser, 1989; Ho y Spence, 2008).

Los parámetros que intervienen en las respuestas de las personas dependen de aspectos relacionados con la visibilidad (brillo, contraste, etc.); la legibilidad (tamaño, claridad y tipo de fuente luminosa); el grado de fatiga que producen (fuente luminosa, color, parpadeo, etc.); y la compatibilidad (grado de adecuación al sistema) y, variarán según el tipo de dispositivo visual. Los aspectos de la iluminación más directamente relacionados con la visión son el ángulo de visión, la agudeza visual, el contraste, el tiempo de exposición, la distribución del brillo en el campo visual, el deslumbrado y la difusión de la luz y del color (Abemethy, 1988; Åberg, 1988; Adams & Edyworthy, 1995). Además de estos aspectos, también se consideran las magnitudes y unidades de luz, como el flujo luminoso, la unidad luminosa, los niveles de iluminación y la luminancia (Carretero, 1994).

Teniendo en cuenta estos parámetros, se debe considerar el principio de parsimonia es decir, siempre se optará por el dispositivo más sencillo que proporcione la información necesaria y suficiente. La ubicación final del dispositivo estará en función de la importancia dentro del sistema, frecuencia de uso, agrupamiento con otros dispositivos

visuales, secuencia de lectura, iluminación (reflexiones indeseadas, sombras).

Los dispositivos más habituales suelen ser las pantallas de visualización de datos. Las normas ISO (International Organization for Standardization) recogen los principios ergonómicos fundamentales relacionados con la carga mental y el trabajo con pantallas de visualización (ISO, 1991, 1996, 2003, 2004; Real Decreto 488/1997). Se deben tener en cuenta las dimensiones y las posibilidades de control del contraste, brillo, rotación e inclinación por parte del usuario (Jex, 1988; Knight & Salvkndy, 1981).

En general, el usuario debe poder regular la luminosidad y el contraste, siendo importantes además las siguientes prescripciones generales con respecto a la luminancia: altura y tamaño, resolución de la pantalla y frecuencia de centelleo, color, forma, diseño, tamaño, anchura, separación y bordes de los caracteres (Gerbino & Strano, 2002):

- La luminancia de la pantalla no debe ser inferior a 10 cd/m^2 y la de los caracteres estará entre 3 y 15 veces la de la pantalla. La relación correcta oscilará entre 6:1 y 10:1.
- La altura del borde superior de la pantalla debe estar relacionada con la altura de ojos del operador y no deberá superar la línea horizontal de los ojos.
- Respecto al tamaño de pantalla, las de 12" son válidas para trabajos ocasionales. Para trabajos de entrada de datos el mínimo es de 14". Las pantallas mayores de 16" permiten la visualización de un documento estándar de tamaño DINA A-4 completo.
- Siempre que se pueda se optará por pantallas de resolución 72 dpi.

- La frecuencia de centelleo debe ser de 70 a 85 barridos por segundo (Hz).
- El color de los caracteres negros sobre blanco ofrece mejor contraste que los caracteres blancos sobre fondo negro, y además son compatibles con la mayoría de los documentos escritos en papel.
- La forma de los caracteres debe ser bien definida.
- Los caracteres deben estar bien diseñados (la matriz de píxeles de 7x9 es preferible, aunque podemos aumentar la matriz a 11x14).
- El tamaño de los caracteres debe ser de 3'5 a 4'5 mm para que su lectura sea fácil a la distancia de 40-70 cm. Lo mejor es trabajar con programas que admitan el cambio de tamaño.
- La anchura de los caracteres debe estar comprendida entre el 60 y el 80 % de la altura y su espesor debe ser próximo al 15 %.
- La separación entre caracteres será inferior al 20% de la anchura.
- Los caracteres deben ser estables y no emitir centelleos.
- La separación entre línea base será del 120 al 150% del cuerpo de letra utilizada.
- Para evitar reflexiones es importante que pueda cambiarse fácilmente el ángulo de inclinación de la pantalla. El movimiento debe estar comprendido entre 15° hacia arriba y 5° hacia abajo.
- La superficie exterior de la pantalla debe estar tratada de tal forma que elimine los posibles reflejos.
- Los dispositivos de control de la pantalla deben estar en lugares accesibles para facilitar su manipulación.

- Por último, debe estudiarse la posición de la pantalla respecto de las ventanas y focos de luz artificial (techo, lateral) para evitar reflejos indeseados.

En lo que respecta a los dispositivos informativos acústicos, también se han llevado a cabo numerosas investigaciones sobre su diseño en el ámbito del transporte (Amditis, Polychronopoulos, Andreone, & Bekiaris, 2006; Ballas, 1993; Barras & Frauenberger, 2009; Hayward, 1994; Mustonen, 2008; Watson & Sanderson, 2007).

En condiciones normales el oído humano percibe frecuencias de 16 a 16000 Hz, con una presión acústica entre 2×10^{-5} y 2×10^4 Pa. (10^{-12} W/m² y 10^4 W/m²). Para iguales niveles de presión acústica las altas frecuencias afectan más al oído humano que las bajas. Por otra parte, la propagación del sonido depende directamente de las propiedades absorbentes de los materiales que rodean el entorno, por lo que es mejor trazar cualquier estrategia de medición una vez que se conoce perfectamente la situación y el objetivo a conseguir. Es importante, en cualquier caso, determinar el enmascaramiento, por lo que hay que medir la relación señal a ruido (S/N) en las frecuencias de interés (Amditis et al., 2006; Arons & Minatt, 1994; Ballas, 1993; Barras & Frauenberger, 2009; Hayward, 1994; Watson & Sanderson, 2007).

La percepción del ruido depende tanto de aspectos objetivos como de aspectos subjetivos (Hendy, Hamilton & Landry, 1993; Heras, 1996; Gaver, 1993;). Los aspectos subjetivos son los que determinan el grado de molestia, pero también hay aspectos objetivos que influyen. Entre ellos se encuentran las características físicas como el espectro, la duración del sonido, el tiempo de aparición, el máximo nivel alcanzado, además del tipo de tarea y las características

individuales del sujeto (Dickinson & Lowe, 2007; Dufresne, 2001).

1.2.2.3. Experimentación (“Usability Testing”): validación del prototipo

Las pruebas de usabilidad representan el método más importante para identificar posibles problemas del prototipo diseñado de una interfaz hombre-máquina (Nielsen, 1993; Säde, 1998; Walker, 2002), dado que son el único mecanismo que tiene el investigador para obtener información directa y detallada sobre la experiencia del usuario con el producto final (Nielsen, 1993).

Una vez diseñado el prototipo del dispositivo, la validación consiste fundamentalmente en un proceso iterativo de análisis, en el que se valora hasta qué punto el dispositivo es capaz de interactuar de manera eficaz con el usuario final. Para ello, generalmente, se realiza una primera prueba en laboratorio. Tras los ensayos en laboratorio, la siguiente fase consiste en implementar en el contexto de realización de la tarea el prototipo (entorno real). Se utilizan diferentes técnicas de registro de datos (cuestionarios, entrevistas,...) para valorar las características del dispositivo; tras el análisis de la información recogida, se rediseña si es necesario el prototipo inicial para ajustarlo a las necesidades del usuario final.

Diferentes modelos han abordado el tema de las pruebas de usabilidad (Nilsson & Siponen, 2005; Virzi, Sokolov, & Karis, 1993) centrándose en la fidelidad del sistema técnico. Elliot et al., 2004, consideran aspectos que van más allá de la fidelidad del prototipo tales como la fidelidad de la tarea y requisitos operacionales. Dumas & Redish (1993) señalan que en cualquier validación de un prototipo centrada en el usuario final

se deben considerar los siguientes aspectos: que los participantes en el proceso de validación representen a los usuarios finales; que las tareas utilizadas en el proceso de validación sean tareas reales y que se considere la facilidad de uso de los usuarios finales.

En una reciente publicación (Sauer, Seibel &, Rüttinger, 2010) critican la falta de validez ecológica de los modelos utilizados en las pruebas de usabilidad hasta la fecha y proponen el “Four-factor framework of contextual fidelity” (modelo marco de cuatro factores de fidelidad contextual). Estos cuatro factores se deben considerar en el contexto en el que se desarrollaran las pruebas de usabilidad (figura 13). En realidad el modelo de “cuatro factores” asimila las pruebas de usabilidad a los análisis de fiabilidad y validez de las pruebas psicológicas destacando la necesidad de una mayor normalización del procedimiento de validación.

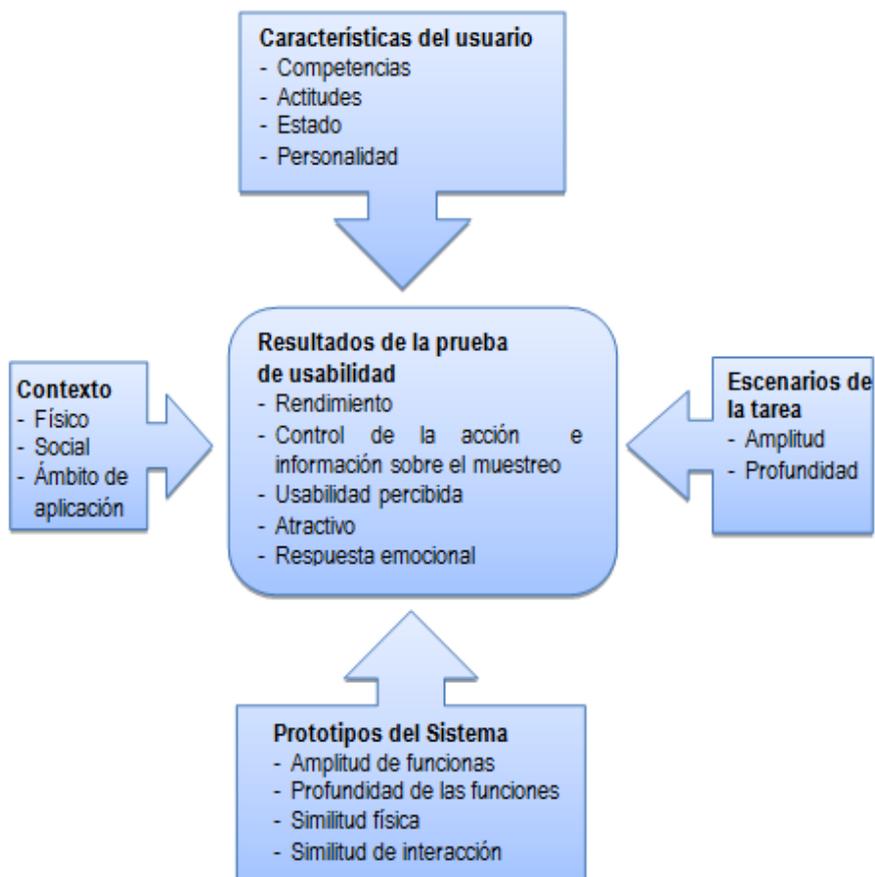


Figura 13. Modelo marco de cuatro factores de fidelidad contextual (Adaptado de Sauer et al., (2010), p. 132)

El modelo incluye diversos factores relacionados con aspectos a valorar en la fidelidad del prototipo. Generalmente el contexto en el que se realizan las pruebas de usabilidad tiene un menor nivel de fidelidad que el contexto en el que se va a implementar el dispositivo final. Esa falta de fidelidad está relacionada con cuatro aspectos fundamentales:

- Características del usuario: los participantes en las pruebas de validación del prototipo suelen ser distintos a los usuarios finales.

- Prototipos del sistema: cuando se valoran los prototipos no suelen estar generalmente en pleno funcionamiento.
- Escenarios de la tarea: la tarea que se utiliza para realizar las pruebas de usabilidad pueden no ser lo tan complejas como la tarea que se va a realizar con el dispositivo final.
- Contexto: el entorno en el que se realizan las pruebas del prototipo puede ser físicamente distinto al contexto de uso del dispositivo final.

Por último destacar que existen autores que sugieren que las pruebas de usabilidad tal vez no sean suficientemente eficaces para detectar todos los problemas del dispositivo una vez instalado (Kanis, 2011).

1.2.2.4. Seguimiento: validación del dispositivo

Esta fase consiste en evaluar el dispositivo una vez instalado en el entorno real y en uso. Aunque la mayoría de dispositivos diseñados no son sometidos a una fase de seguimiento por las características de los mismos, en el caso de dispositivos de seguridad embarcados en cabinas de transporte colectivo de viajeros, esta es una fase crítica. A pesar de ello son pocos los estudios de seguimiento publicados por tratarse de estudios internos de las compañías y/o sometidos a confidencialidad. Stevenson, Coleman, Long & Williamson (2000) evalúan los cambios realizados en la cabina de conducción de un tren eléctrico suburbano a los cinco años de haber sido modificado y, cuando prácticamente se había instalado en todas las unidades. El proceso de evaluación de la efectividad de los cambios se realizó cinco años después de las modificaciones. Se consideró que cinco años era el tiempo

apropiado para evaluar la efectividad del cambio, cuando en la mayoría de las locomotoras se habían instalado la consola modificada (figura 14).

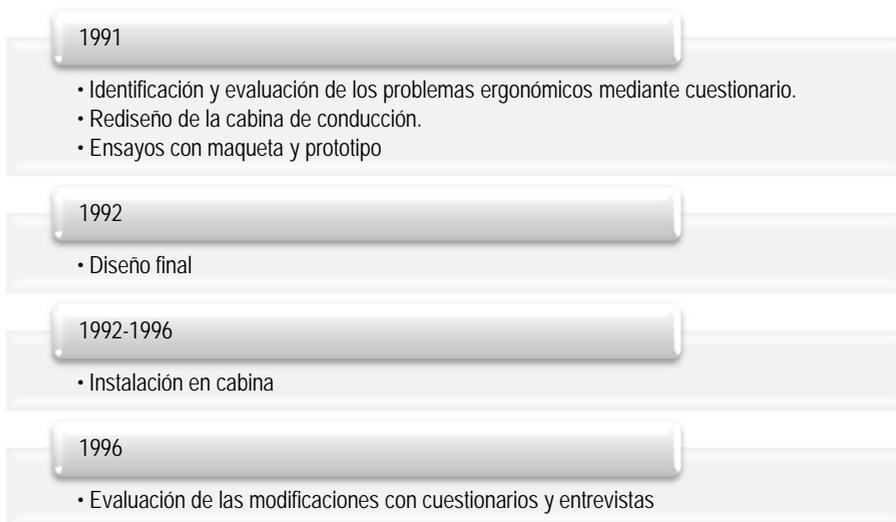


Figura 14. Etapas del estudio de Stevenson, Coleman, Long & Williamson (2000)

Para evaluar las modificaciones a los cinco años, se administró un cuestionario a 170 conductores que tenían experiencia con los dos diseños (el original y el nuevo), de los cuales 132 fueron válidos. En el cuestionario de evaluación se pedía a los conductores que valorasen ciertos aspectos de las modificaciones implementadas en la cabina comparadas con el pupitre original. Los conductores afirmaron que tras las modificaciones la conducción les resultaba mucho más fácil, más cómoda, menos agotadora, lo que repercutió positivamente en la seguridad.

1.3. Diseño del subsistema de presentación de indicaciones ASFA Digital

Para el diseño del subsistema de presentación de indicaciones del ASFA Digital se siguieron las siguientes fases y se realizaron las siguientes tareas (tabla 4).

	FASES	TAREAS
1	Análisis y diagnóstico de la situación (Análisis de tarea del maquinista)	Análisis visual del entorno del maquinista
		Análisis acústico del entorno del maquinista
		Diseño y administración de cuestionario
2	Diseño del prototipo ASFA Digital	Prescripciones técnicas
3	Experimentación: Usability test y diseño final	Pruebas en vía
		Diseño y administración de cuestionario
		Configuración global del dispositivo
4	Valoración de la eficacia del dispositivo	

Tabla 4. Fases de diseño del subsistema de presentación de indicaciones ASFA Digital

1.3.1. Fase 1. Análisis y diagnóstico de la situación

En la fase 1 de diseño del subsistema se llevaron a cabo las siguientes tareas:

1.3.1.1. Análisis visual del entorno

Se realizaron grabaciones en vídeo y observación directa de la tarea de conducción de los maquinistas en entorno real. Para ello se dispuso en la cabina de conducción una cámara de

vídeo montada sobre un trípode para registrar los movimientos que realizaba el maquinista sobre los mandos del pupitre de conducción en el desarrollo de la tarea. Al mismo tiempo que se realizaba la grabación con la cámara de vídeo, los investigadores realizaban la observación de la tarea.

La información obtenida tanto por las grabaciones en vídeo como por la observación directa de los maquinistas durante la realización de la tarea de conducción fue sometida a análisis.

Se analizaron los registros en vídeo de cinco tipos de máquinas representativas pertenecientes a las U.N de Cercanías, Media Distancia y Larga Distancia (252, 448, 450, 464 y 490) (tabla 5) y se realizó un análisis con el método REBA con la finalidad de determinar la zona óptima de ubicación del dispositivo en la cabina de conducción.

Máquina 252



Máquina 448



Máquina 450



Máquina serie 462-463-464-465 Civia





Tabla 5. Máquinas

Las conclusiones fundamentales de la fase de análisis y diagnóstico de la situación fueron:

- La conducción de trenes es una tarea compleja de carácter semiautomático. La tarea fundamental del maquinista consiste en integrar diversas fuentes de información que le permitan planificar una estrategia de actuación para conseguir las metas de su tarea.
- Las características de la tarea de conducción y del contexto en el que se desarrolla (monotonía de la tarea, alta repetición de los recorridos, automatización de las tareas y funciones,...) hacen que ésta sea definida como una tarea de vigilancia que requiere una buena capacidad de atención sostenida y un buen mantenimiento del nivel de alerta necesario para responder de manera adecuada a los estímulos y eventos que se pueden presentar durante la conducción y, son precisamente los problemas para mantener la atención, los que constituyen la principal causa de los

accidentes e incidentes debidas al factor humano en el ferrocarril.

- Los procesos cognitivos y motivacionales son los aspectos críticos en la realización de la tarea bajo parámetros de seguridad.
- Según el análisis REBA, los diferentes elementos del pupitre de conducción deben ubicarse en función de la frecuencia de uso (los elementos de uso frecuente deberán situarse frente al trabajador, sobre el pupitre y a una distancia de 385 milímetros y los menos frecuentes a una distancia de 586 milímetros, medidos desde el centro del cuerpo visto lateralmente) (imagen 2). Y, la ubicación del dispositivo de información visual (DIV) entre los límites indicados en las figuras 15 y 16.

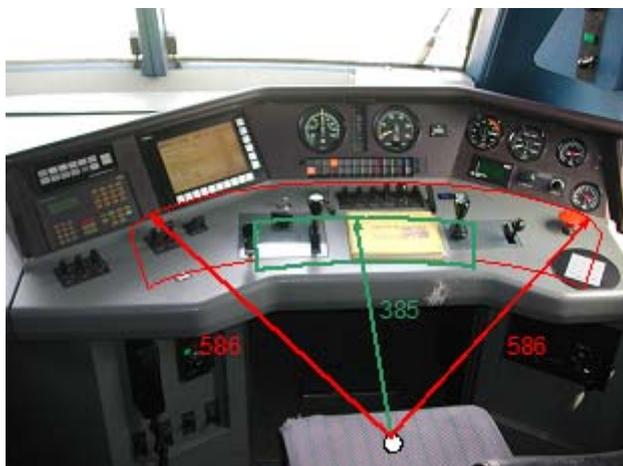


Imagen 2. Zonas de ubicación de los elementos en el pupitre.

La zona verde marca la zona óptima de ubicación de los elementos más frecuentes, mientras que la zona roja delimitaría la zona de ubicación de los elementos menos frecuentes.

Tomando como referencia la localización del maquinista y considerando los límites del campo visual del ojo humano, la ubicación correcta de la pantalla de visualización de datos debe encontrarse entre los siguientes límites:

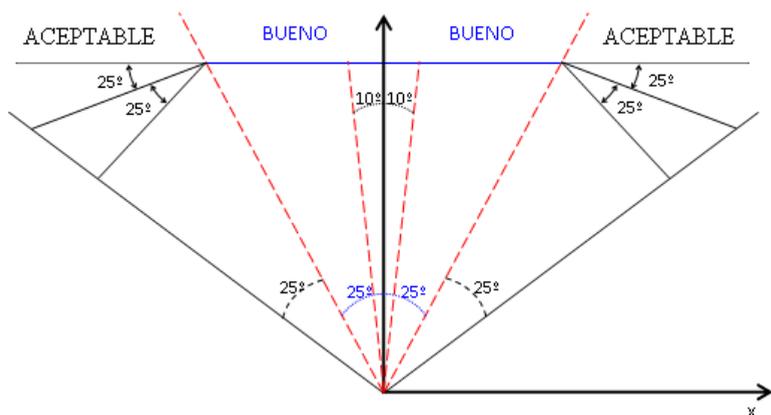


Figura 15. Ángulos de visión (planta)

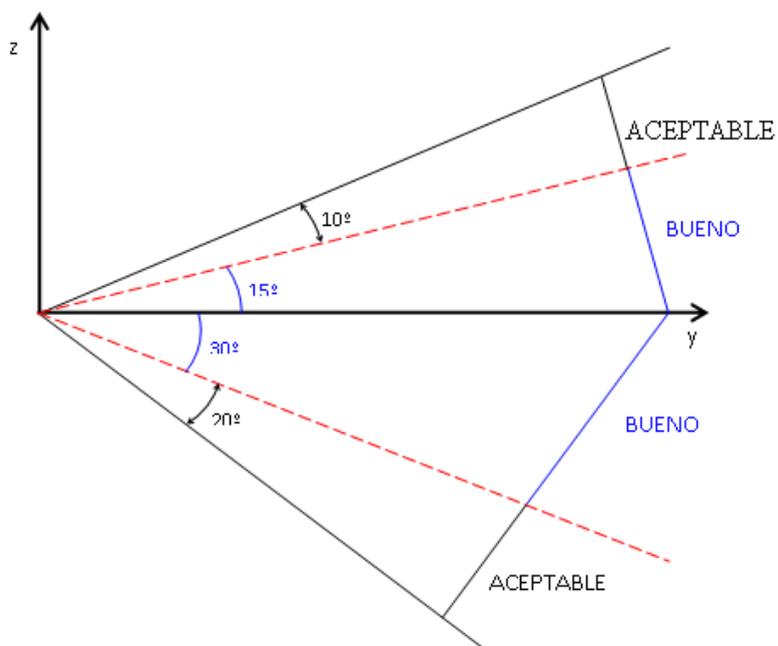


Figura 16. Ángulos de visión (perfil)

Dada la heterogeneidad de modelos de cabinas de conducción, para poder adaptar estas recomendaciones se debe considerar, la profundidad del pupitre, la ubicación de la silla del conductor y la ubicación de los controles de tracción y freno. Las dimensiones dadas anteriormente siempre se referencian desde el centro de la silla del conductor. Por tanto si la distancia del centro de la silla al pupitre varía, las zonas óptimas de ubicación de los elementos también se desplazarán.

La ubicación exacta de cada uno de los elementos a incorporar en la cabina de conducción se determinará en función de la cabina. En aquellas cabinas en las que la integración tanto de la pantalla de visualización de datos como de los elementos del pupitre no se pueda ubicar en las zonas óptimas anteriormente indicadas se deberá realizar un análisis específico para determinar la ubicación correcta.

1.3.1.2. Análisis acústico

Para medir el ruido existente en cabina, se instalaron dos micrófonos, conectados a un sonómetro-analizador de espectros para registrar la señal temporal de ruido (figura 17). Se realizaron diferentes medidas, tanto en máquinas diesel como eléctricas, tomando registros durante 15 minutos en cada máquina. Tras el análisis de los registros dentro del intervalo temporal definido, se calculó el nivel de ruido equivalente tanto en tiempo como en frecuencia para determinar las especificaciones técnicas de los avisos acústicos.

El portátil se conectó directamente al sonómetro el cual disponía de dos canales que se conectaban a su vez a los dos micrófonos que registraron el ruido (imagen 3).

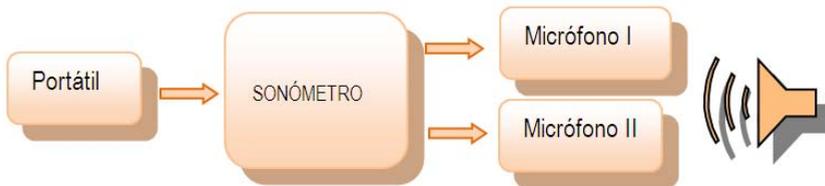


Figura 17. Esquema registro ruido de cabina

El material utilizado fue el siguiente:

- Sonómetro integrado – Analizador de Espectros Tipo I
 - Fabricante y Marca: 01 dB
 - Modelo: SYMPHONIE
 - N^o de serie 1347
- Micrófonos
 - Marca: Gras
 - Modelo: G 40 AF
 - N^o de Serie.25604#1#
- Ordenador portátil Toshiba

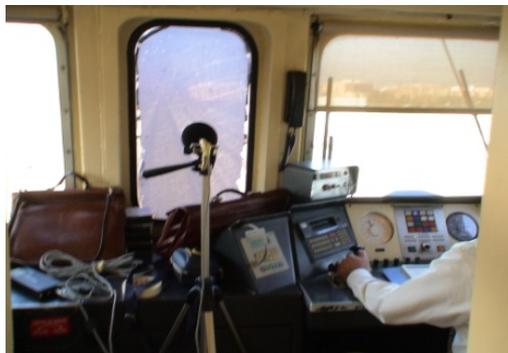


Imagen 3. Representación del ensayo en cabina

Posteriormente se calculó el espectro de ruido en la bandas de 1/3 de octava, dentro de los rangos de frecuencias que marca la Norma UNE 74.002-78 e ISO 226.

Tras el análisis acústico se concluyó que deberían incorporarse avisos acústicos en el ASFA Digital de intensidades entre 75 y 100 dB(A) y de distinta frecuencia y duración en función de las distintas acciones o indicaciones a las que se asocien.

1.3.1.3. Diseño, administración y análisis de cuestionarios

Como parte del análisis de la tarea se diseñó un cuestionario (ErgoASFA) para recoger información acerca de las características, funcionalidad y ubicación del dispositivo ASFA instalado en las locomotoras de Renfe Operadora. El cuestionario tenía preguntas relativas a las características del conductor (Edad, Unidad de Negocio (UN), experiencia y vehículo que conduce); veintidós ítems de varias alternativas de respuestas y una pregunta abierta.

El cuestionario ErgoASFA se administró a un total de 592. La edad media fue de 45,5 años y con 25 años de media de conducción. La mayoría de maquinistas indicaron que la funcionalidad del ASFA era mejorable, apuntando las siguientes mejoras:

- Diferenciar entre anuncio de parada y de precaución.
- Controlar la velocidad en limitaciones de velocidad.
- Supervisar la velocidad al aproximarse a una señal de parada.
- Incluir un regulador de señal acústica y visual.
- Incluir más información en el panel repetidor.
- Controlar la velocidad al paso por agujas.

- Supervisar las limitaciones de velocidad y la velocidad máxima.
- Diferenciar la indicación de vía libre y PaN protegido.

También se les pidió que indicaran las señales a supervisar. Consideraron que el orden de importancia en el que se debían supervisar las señales por el sistema (de más a menos importancia) era:

- Parada.
- Anuncio de parada.
- Anuncio de precaución.
- Preanuncio de parada.
- Limitación de velocidad.
- Señal de PaN.
- Vía libre condicional.

El 28,55% de los maquinistas indicó que la visibilidad de las indicaciones del panel repetidor era muy mejorable. El 30% de los maquinistas indican que la ubicación del pulsador de reconocimiento era muy perfectible.

A partir de los resultados anteriormente descritos y del análisis de contenido de la pregunta abierta del cuestionario, se extrajeron las conclusiones que se consideraron en la fase de diseño y desarrollo del prototipo. El nuevo dispositivo debería:

- Supervisar las velocidades, limitaciones temporales y distancias, la proximidad de señales de parada, PaN desprotegido, limitación de velocidad y paso por agujas.
- Diferenciar las siguientes señales: anuncio de parada, anuncio de precaución y preanuncio de parada; vía libre del PaN protegido; PaN del resto de señales; indicación

acústica de VL y el resto de señales; y cada una de las señales acústicas de la cabina de las restantes.

- Reducir la duración de la señal acústica de Vía Libre y el exceso de ruido.
- Mantener información de rebase hasta el paso por la siguiente baliza.
- Eliminar información redundante e innecesaria e informar sólo cuando el maquinista deba actuar.
- Mejorar diferentes aspectos del sistema relacionados con la ubicación de los pulsadores; la situación del pulsador de reconocimiento, unificar la posición del pulsador de reconocimiento; el tiempo de reconocimiento, modificándolo para que no se haga de forma automática; la eficacia del rearme de freno; la situación del equipo en cabina; las indicaciones de eficacia, ya que molestan por la noche; y las indicaciones acústicas y visuales, incluyendo un regulador.

En cuanto a la información a incluir en el nuevo dispositivo, los maquinistas indicaron que sería interesante incluir un indicador de tipo de bloqueo; indicación de las secuencias de señales y almacenarlas; mensajes acústicos de voz; información visual/acústica un tiempo antes de la activación del freno urgencia por exceso de velocidad; información, control y supervisión de velocidades, limitaciones temporales y distancias; estado de la última señal de forma visual; pulsadores con los colores de la señal reconocida; señalización acústica con marcha a la vista; regulador del nivel acústico y diferentes pulsadores de reconocimiento para cada señal.

1.3.2. Fase 2. Diseño y desarrollo del prototipo

El subsistema de actuación y presentación de indicaciones del prototipo ASFA Digital se debe instalar en el pupitre de conducción y está formado por un dispositivo de información visual, el panel repetidor, tres pulsadores adicionales en pupitre de conducción y avisos acústicos.

A partir de los resultados del estudio se rediseñó el dispositivo ASFA en una nueva versión de prototipo.

1.3.2.1. Dispositivo de información visual (DIV).

Los caracteres se ajustaron a las siguientes características: espesor del carácter modo día de 1,78 mm; espesor del carácter modo noche de 0,84 mm; tipo de letra Helvética Concentrada. El resto de indicaciones numéricas se ajustaron a los criterios de diseño de los dígitos contenidos en la norma UNE 894-2.

El DIV consta de seis áreas con información diferenciada (figura 18): de velocidad; de aviso de sobrevelocidad y frenado de emergencia; de eficacia, modalidad y tipo de tren; de velocidad de control final; de icono de control y de la última información ASFA recibida.

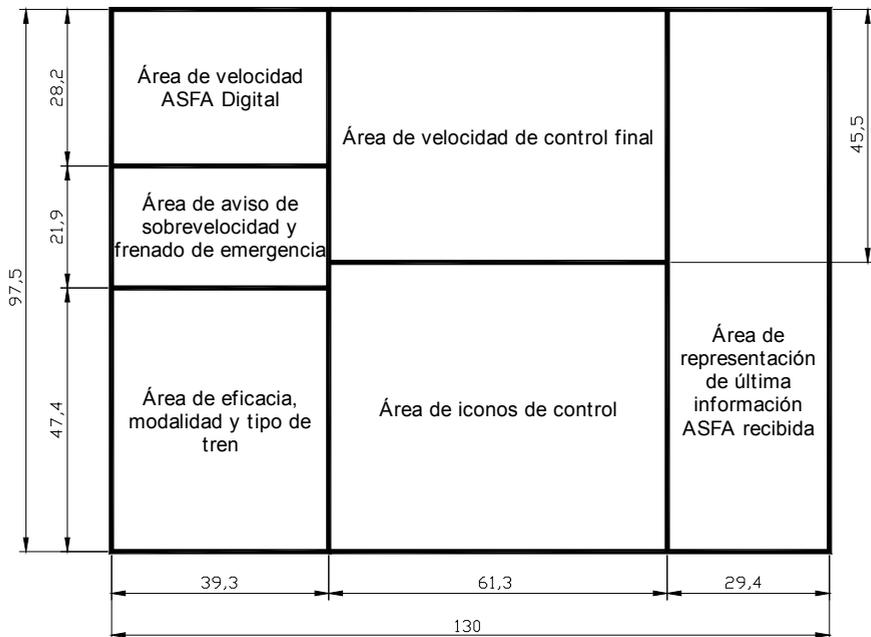


Figura 18. Dimensiones y distribución de las áreas de información de la pantalla de visualización de datos

Para cada una de las áreas se diseñaron iconos capaces de transmitir la información de manera intuitiva a los maquinistas (figura 19).

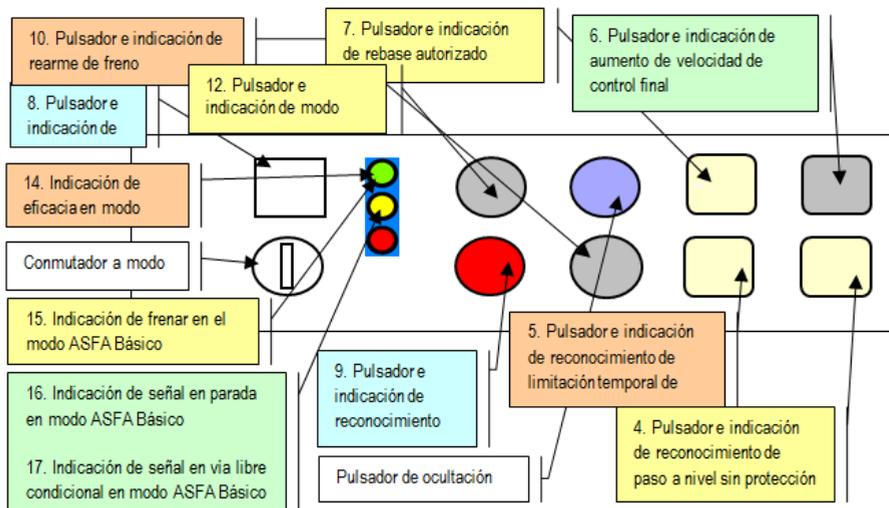


Figura 21. Disposición de las indicaciones en el panel repetidor

1.3.2.3. Pulsadores de reconocimiento en pupitre de conducción

La forma y el significado de cada uno de los tres pulsadores ubicados en el pupitre de conducción se muestran en la figura 22:

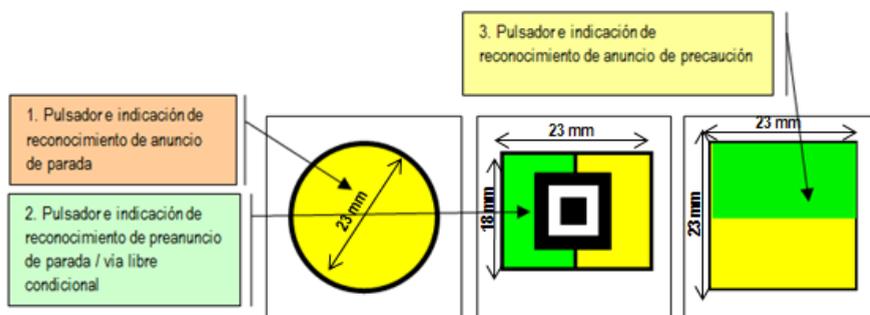


Figura 22. Forma, medias y significado de los pulsadores del pupitre

1.3.2.4. Indicaciones acústicas

Las especificaciones técnicas de los avisos acústicos se presentan en la siguiente tabla (tabla 6).

Sonido	Intensidad	Frecuencia	Duración	Significado
S1-1	75-100 dB(A)	1215 Hz	Un pulso de 300 ms	Indicación de recepción de frecuencias
S2-1	75-100 dB(A)	1215 Hz	Un pulso de 3000 ms máximo hasta pulsación	Indicación de recepción de frecuencias
S2-2	75-100 dB(A)	600 - 700Hz	Dos barridos de frecuencia (de 600 a 700 Hz) de 100 ms de duración separados por una pausa de 100 ms.	Reconocimiento de frecuencia correspondiente a anuncio de parada o de vía libre condicional
S2-3	75-100 dB(A)	1000 - 1100 Hz	Dos barridos de frecuencia (de 1000 a 1100 Hz) de 200 ms de duración separados por una pausa de 100 ms.	Reconocimiento de frecuencia correspondiente al anuncio de precaución
S2-4	75-100 dB(A)	1500 - 1600 Hz	Tres barridos de frecuencia (de 1500 a 1600 Hz) de 300 ms de duración separados por pausas de 100 ms.	Reconocimiento de frecuencia correspondiente a preanuncio de parada.
S2-5	75-100 dB(A)	600 - 700Hz	Cuatro barridos de frecuencia (de 600 a 700 Hz) de 400 ms de duración separados por pausas de 100 ms.	Reconocimiento de frecuencia correspondiente a PaN sin protección.
S2-6	75-100 dB(A)	1000 - 1100 Hz	Cinco barridos de frecuencia (de 1000 a	Reconocimiento de frecuencia

Sonido	Intensidad	Frecuencia	Duración	Significado
			1100 Hz) de 500 ms de duración separados por pausas de 100 ms.	correspondiente a limitación temporal de velocidad.
S3-1	75-100 dB(A)	1976 Hz	Pulsos de 250 ms separados por pausas de 600 ms.	Reconocimiento de frecuencia correspondiente al primer aviso de sobrevelocidad.
S3-2	75-100 dB(A)	1976 Hz	Pulsos de 250 ms separados por pausas de 200 ms.	Reconocimiento de frecuencia correspondiente al segundo aviso de sobrevelocidad.
S3	75-100 dB(A)	1976 Hz	Un pulso de 6000 ms.	Indicación de freno de emergencia.
S4	75-100 dB(A)	522 Hz	Pulsos de 300 ms separados por pausas de 500 ms.	Indicación de rebase autorizado.
S5	75-100 dB(A)	700 - 900 Hz	Dos barridos de frecuencia (de 700 a 900 Hz) de 200 ms de duración separados por una pausa de 400 ms.	Indicación de alarma.
S6	75-100 dB(A)	1215 Hz	Un pulso de 3000 ms	Indicación de recepción de frecuencia.

Tabla 6. Especificaciones técnicas de los avisos acústicos

Los avisos acústicos S1/1 y S2/1 son indicadores de recepción de diferentes frecuencias de las balizas instaladas en vía.

La indicación acústica S2/2 es sonido de reconocimiento de anuncio de parada o de vía libre condicional; la S2/3 es el sonido de reconocimiento del anuncio de precaución y, la S2/4 corresponde al preanuncio de parada

La intensidad de las indicaciones se ha definido dentro de un rango definido por el valor mínimo de 75 dB(A) y máximo de 100 obtenidos a partir de los análisis acústicos realizados en cabina y de las características físicas de los maquinistas (agudeza auditiva asociada a la edad). Un regulador acústico en la cabina debe controlar la intensidad de los avisos, respetando los límites anteriores.

Las soluciones para realizar el ajuste del volumen de las señales acústicas pueden acudir a botones ubicados fuera de la pantalla de visualización de datos, siendo recomendable el uso adicional de sistemas automáticos de ajuste en base al nivel de ruido ambiental en la cabina o de la velocidad del vehículo.

1.3.3. Fase 3. Experimentación

Con el objeto de evaluar el prototipo en el entorno real, se llevaron a cabo una serie de pruebas en vía para evaluar el display, las indicaciones acústicas, el panel repetidor y los pulsadores de reconocimiento. Además de las observaciones recogidas en estos ensayos, se realizaron entrevistas a los maquinistas que habían conducido con el prototipo utilizando un protocolo desarrollado para tal fin.

Para realizar las pruebas se elaboró un libro de diferentes escenarios que el trayecto permitía configurar. Se proponía un escenario y se forzaba al maquinista a pulsar dicho tipo de secuencia independientemente del aspecto de la señal lateral, de tal forma que lo importante era encontrar un trayecto con el número y tipo de balizas necesarias para poder simularlo.

La conducción la realizó un maquinista de pruebas que desconocía el funcionamiento del ASFA Digital. Le acompañaba otro maquinista de pruebas que ya había estado tres días realizando pruebas con el prototipo, de tal manera que le iba explicando el funcionamiento.

Durante la conducción se iba tomando nota de todas las incidencias provocadas por las diferentes secuencias programadas (errores a la hora de tomar la curva más restrictiva, tiempos insuficientes al paso por cambios, distancias a los pasos a nivel protegidos,...), así como de todos los comentarios realizados por los maquinistas.

La conclusión fundamental de esta fase fue que de forma general los maquinistas valoraron positivamente la información representada en el display, es decir, que el prototipo cumplía con los objetivos para el que fue diseñado: aumentar el grado de atención de maquinista, proporcionarle mayor información útil para la conducción y, por tanto, minimizar el error humano en la conducción. Puesto que la validación del prototipo fue positiva, se procedió a elaborar las especificaciones del ASFA Digital para su fabricación e instalación en las locomotoras.

1.4. Diferencias entre el ASFA y el ASFA Digital

Tras la fase de experimentación del prototipo ASFA Digital, se inició el proceso de implantación de la nueva versión de ASFA en las cabinas de los trenes de la red ferroviaria española.

Las principales diferencias que presenta el ASFA Digital en el subsistema de presentación de indicaciones respecto al ASFA son que consta de tres pulsadores instalados en el pupitre de conducción, de un nuevo panel repetidor, de un display y de nuevos avisos acústicos (tabla 7).

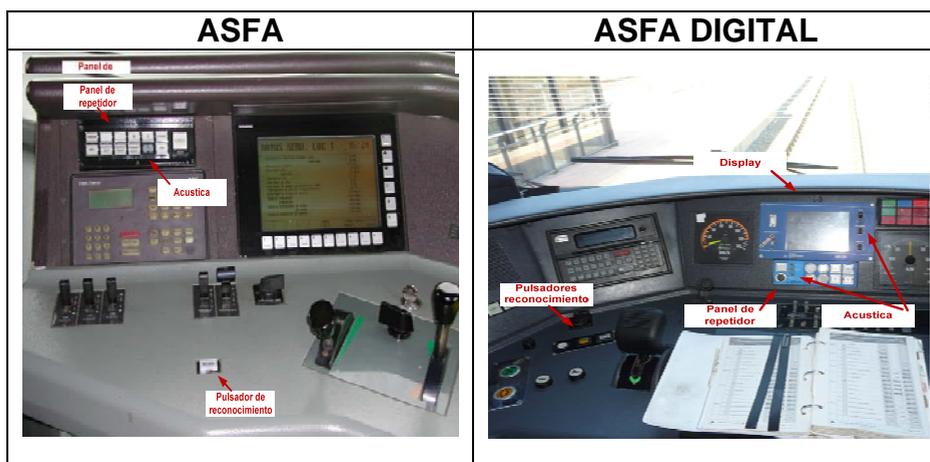


Tabla 7. Diferencias entre ASFA y ASFA Digital en el tipo de información acústica y visual presentada al maquinista y la configuración de pulsadores.

En el pupitre de conducción del dispositivo ASFA Digital, se incorporaron tres pulsadores de reconocimiento en función de las señales que debían reconocer (tabla 8): el de anuncio de parada y de parada inmediata, el de preanuncio de parada y vía libre condicional y, el de anuncio de precaución.

ASFA	ASFA Digital
	

Tabla 8. Pulsador/es de reconocimiento del ASFA y del ASFA Digital

El display se introdujo principalmente como un dispositivo complementario del ASFA de ayuda a la conducción, donde el maquinista pudiera ver a simple golpe de vista la información necesaria y suficiente para circular en condiciones de seguridad (tabla 9).

ASFA	ASFA Digital
<p>No dispone</p>	

Tabla 9. Dispositivo de información visual del ASFA Digital

En el panel repetidor del subsistema de presentación de indicaciones del dispositivo ASFA Digital, se redistribuyeron los pulsadores en función de su importancia en la conducción y se introdujo información adicional (tabla 10). Se reemplazó la información en texto por pictogramas relacionados con la función del pulsador para facilitar el procesamiento de la

información y reducir la carga mental. La importancia de los pulsadores se diferenci3 mediante su ubicaci3n y forma. Los cuatro pulsadores de forma cuadrada son los m3s relevantes para la seguridad y los que requieren acciones m3s frecuentes.

ASFA	ASFA DIGITAL
 The image shows the ASFA control panel, which is a black rectangular device. It features several buttons and indicators. From left to right, there are buttons labeled 'MENAS', 'VL', 'CV', and 'CONEL'. Below these are buttons for 'REC', 'ALARMA', 'MANTENIMIENTO', and 'MANTENIMIENTO AUTO'. There is also a circular indicator with a target symbol. The bottom of the panel has the text 'SINERGIAS S.A.'.	 The image shows the ASFA Digital control panel, which is a blue rectangular device. It features several buttons and indicators. From left to right, there are buttons labeled 'Ejecuci3n', 'Frenado', 'MIGROS', 'REARMAR', 'ALARMA', and 'ALARMA'. There is also a circular indicator with a target symbol. The bottom of the panel has the text 'SINERGIAS S.A.'.

Tabla 10. Panel repetidor del ASFA y del ASFA Digital

2. METODOLOGÍA

La investigación realizada para validar la eficacia del subsistema de presentación de indicaciones del dispositivo ASFA Digital es la última etapa del proyecto de investigación iniciado con Renfe Operadora en el año 2005. En este proyecto, en el que participó Renfe, Adif, Invensys Rail Dimetronic, Ineco Tifsa y la Universidad de Valencia, se desarrollaron las especificaciones técnicas y funcionales del sistema Embarcado ASFA Digital. La Universidad de Valencia participó en el diseño del subsistema de presentación de indicaciones del dispositivo ASFA Digital.

Para validar la eficacia de dicho subsistema han transcurrido cinco años (Stevenson, et al., 2000), lo que ha permitido por una parte que el dispositivo esté implantado en la mayoría de las locomotoras del parque ferroviario español y los maquinistas tengan experiencia con el manejo del mismo y, por otra parte, poder realizar un estudio de la evolución de la repercusión que el dispositivo ASFA Digital ha tenido sobre la accidentalidad e incidentalidad. Para ello, se han considerado dos indicadores:

- La percepción de seguridad que los maquinistas tienen conduciendo con el dispositivo ASFA Digital. Este indicador se ha analizado a través de las respuestas de los maquinistas al cuestionario diseñado.
- El estudio de la evolución del número rebases de señal desde la implementación del dispositivo ASFA Digital en las locomotoras.

2.1. Objetivos

2.1.1. Objetivo general

Validar la eficacia del subsistema de presentación de indicaciones del dispositivo ASFA Digital implantado en las locomotoras de la Red Ferroviaria de Interés General de España.

2.1.2. Objetivos específicos

- Determinar si los pulsadores del pupitre de conducción del dispositivo ASFA Digital han contribuido a mejorar la seguridad en la conducción.
- Comprobar si cada uno de los pulsadores de reconocimiento del pupitre de conducción ha incrementado la seguridad en la conducción.
- Valorar si la introducción del Display del ASFA Digital en la locomotora ha contribuido a mejorar la seguridad.
- Establecer si cada uno de los elementos del display ha mejorado la seguridad.
- Determinar si la mejora introducida en la acústica del sistema ASFA Digital ha incrementado la seguridad.
- Comprobar si los nuevos tonos asociados al exceso de velocidad han disminuido las activaciones del freno de emergencia.
- Valorar si la intensidad de los tonos del ASFA Digital mantiene la alerta en la conducción.
- Establecer si la información adicional que se ha introducido en el panel repetidor del sistema ASFA Digital contribuye a mejorar la seguridad.
- Determinar si cada uno de los elementos del panel repetidor del ASFA Digital ha favorecido la mejora de la seguridad.

- Comprobar si la conducción en modo degradado ha contribuido a mejorar la seguridad.
- Estudiar la evolución de los rebases de señal.

2.2. Hipótesis

- Los pulsadores del pupitre de conducción del dispositivo ASFA Digital han contribuido a mejorar la seguridad en la conducción.
- Cada uno de los pulsadores de reconocimiento del pupitre de conducción ha incrementado la seguridad en la conducción.
- La introducción del Display del ASFA Digital en la locomotora ha contribuido a mejorar la seguridad.
- Cada uno de los elementos del display ha contribuido a mejorar la seguridad.
- La mejora introducida en la acústica del sistema ASFA Digital ha incrementado la seguridad.
- Los nuevos tonos asociados al exceso de velocidad han disminuido las actuaciones del freno de emergencia.
- La intensidad de los tonos del ASFA Digital mantiene la alerta en la conducción.
- La información adicional que se ha introducido en el panel repetidor del sistema ASFA Digital contribuye a mejorar la seguridad.
- Cada uno de los elementos del panel repetidor del ASFA Digital ha favorecido la mejora de la seguridad.
- La conducción en modo degradado ha contribuido a mejorar la seguridad.
- Los rebases de señal han disminuido desde la implementación del dispositivo ASFA Digital en la cabina de conducción.

2.3. Muestra

La muestra de estudio la constituyeron 143 maquinistas con una edad media de 45 años, tienen una media de experiencia como conductores de 24 años y una experiencia media conduciendo con ASFA Digital de 2,6 años.

La mayoría de los sujetos pertenece a la UN de Cercanías (gráfico 1), seguida de media distancia y mercancías.

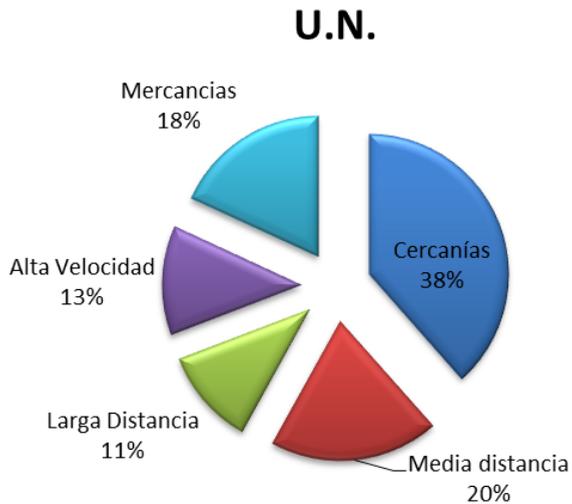


Gráfico 1. Distribución de maquinistas por UN

2.4. Variables

Para alcanzar los objetivos del estudio se consideraron las siguientes variables:

- Edad.
- Antigüedad como maquinista.
- Unidad de Negocio (UN) a la que pertenece.
- Experiencia conduciendo con ASFA Digital.
- Eficacia del sistema ASFA Digital.
- Contribución a la mejora de la seguridad.
- Elementos del pupitre de conducción.
- Elementos del display.
- Elementos de la acústica.
- Elementos del panel repetidor.

2.5. Instrumentos

Se diseñó el cuestionario ASFA Digital (Anexo I). El cuestionario incluye ítems sobre las características descriptivas de los sujetos y los diferentes elementos del subsistema de presentación de indicaciones del ASFA Digital. La escala de respuesta es tipo Likert con diez puntos de anclaje siendo 1 poco/a y 10 mucho/a. El cuestionario consta de siete partes:

1. Características descriptivas de los maquinistas (edad, UN, antigüedad...).
2. Eficacia del ASFA Digital.
3. Valoración de los pulsadores del pupitre de conducción.
4. Valoración de los elementos del display.
5. Valoración de los elementos acústicos del sistema ASFA Digital.
6. Valoración de los elementos del panel repetidor.
7. Valoración del modo degradado.

2.6. Procedimiento

Las fases del diseño de la investigación han sido las siguientes:

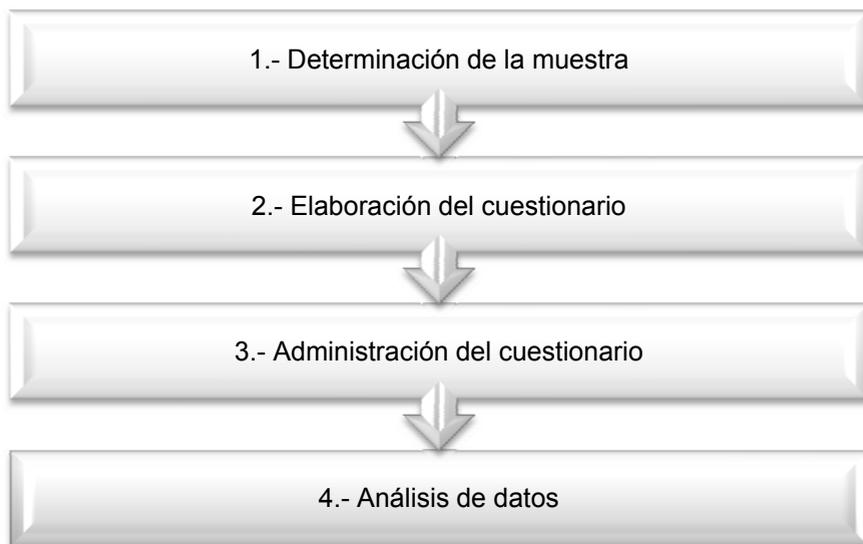


Figura 23. Fases del diseño de investigación

1.- Determinación de la muestra. Se determinó que la muestra la constituyeran voluntarios entre todos los maquinistas de Renfe Operadora para evitar que la selección de la muestra se viera influida por el efecto del experimentador.

2.- Elaboración del cuestionario. En la elaboración del cuestionario participó un grupo de expertos constituido por especialistas en sistemas de protección de tren, en metodología y en procesos psicológicos básicos. Cada uno de ellos desarrolló un conjunto de ítems que posteriormente fueron puestos en común y se seleccionaron los que configuraron el cuestionario definitivo.

3.- Administración del cuestionario. El cuestionario fue informatizado y subido a la aplicación Renfe Interesa. Para

conseguir la máxima difusión entre el personal de conducción se publicó la siguiente noticia en la intranet (imagen 4).

Seguridad en la circulación

Encuesta para el personal de conducción sobre el Asfa Digital

07/03/2012

Alta Velocidad - Larga Distancia Cercanías y Media Distancia Fabricación y Mantenimiento Mercancías y Logística Seguridad en la Circulación



Ahora que ya está casi completada la instalación del sistema en nuestra flota de trenes, es momento de seguir avanzando en su optimización. Para ello, la Dirección de Seguridad en la Circulación lanza, a través de Interesa hasta el 31 de marzo, una encuesta dirigida a los maquinistas.

La implantación del sistema de seguridad Asfa Digital es una de las actuaciones más importantes que ha puesto en marcha Renfe para ayudar a la conducción y minimizar el fallo humano, principalmente en aquellas líneas que no están dotadas de LZB o Ertms. Se trata de un proyecto que se inició en 2005.

Después de los años transcurridos y estando casi la totalidad de los equipos en funcionamiento, la Dirección de Seguridad en la Circulación de Renfe quiere conocer la opinión del personal de conducción sobre la utilidad del sistema, su manejo y la interacción entre el maquinista y el equipo a bordo. Se trata de una información que puede ser de gran utilidad a la hora de introducir mejoras en el Asfa Digital.

La encuesta, en Interesa

Para poder completar la encuesta, que es totalmente anónima, el personal de conducción debe acceder a través del área personal de Interesa (previo inicio de sesión con usuario y contraseña). En caso de establecerla conexión desde un ordenador que no esté conectado a la red de Renfe, como por ejemplo desde el domicilio, hay que entrar en Interesa en la dirección de Internet <https://interesaportal.renfe.es> e introducir el usuario con la clave. El formulario solo se puede rellenar una vez.

Imagen 4. Noticia publicada en la Intranet de Renfe Operadora.

Los maquinistas de forma voluntaria accedieron a través de su usuario y contraseña a la dirección en la que se encontraba el cuestionario para su cumplimentación (imagen 5).

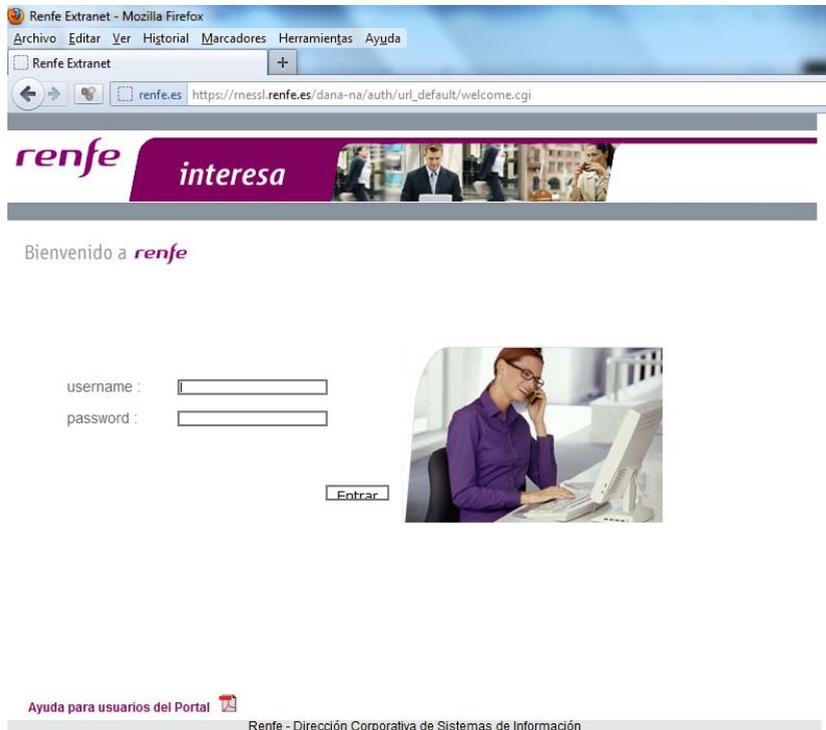


Imagen 5. Intranet de Renfe Operadora.

4.- *Análisis de los datos de la información obtenida mediante los cuestionarios.* Los datos registrados mediante el cuestionario fueron sometidos a diversos análisis estadísticos.

3. RESULTADOS Y DESARROLLO ARGUMENTAL.

Para validar el subsistema de indicaciones de señales del ASFA Digital se administraron los cuestionarios a sujetos con experiencia en la conducción de vehículos ferroviarios antes y después de implementar el dispositivo en la máquina. Para validar el dispositivo se realizó un análisis cuantitativo de la cantidad de rebases de señal como indicador objetivo de la eficacia del ASFA Digital en la seguridad en la circulación.

Los datos registrados con los cuestionarios fueron sometidos a análisis descriptivos, se utilizó el paquete estadístico SPSS 17.0.

En relación a los rebases de señal, se ha realizado un análisis de la evolución de los mismos a partir de la información proporcionada por Renfe Operadora.

3.1. Resultados del análisis del cuestionario

Para asegurarnos que los sujetos que valoraron el ASFA Digital, tenían experiencia previa con el ASFA, se filtraron los datos en función que los sujetos tuvieran una antigüedad mayor o igual a cinco años y una experiencia conduciendo con ASFA Digital mayor o igual a un año, reduciendo de este modo el número de sujetos a 104.

Los resultados que se presentan a continuación se han obtenido sobre esta muestra.

3.1.1. Eficacia del ASFA Digital

La valoración global realizada por los maquinistas de la eficacia que el ASFA Digital ha tenido en la mejora de la seguridad en la circulación es muy positiva; el 81,73% valoran que el Sistema ASFA Digital ha sido muy eficaz en la mejora de la seguridad en la circulación, y únicamente un 2,9% indican que ha sido poco eficaz (gráfico 2).

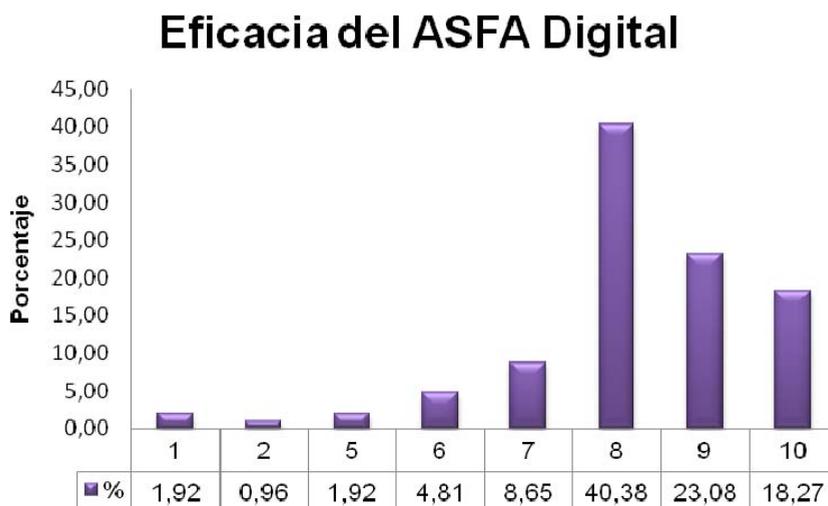


Gráfico 2. Eficacia del ASFA DIGITAL

En el cuestionario administrado a los maquinistas durante la fase de análisis y diagnóstico de la situación, previa al diseño del prototipo del ASFA Digital, también se incluyó el ítem que valoraba la eficacia del sistema ASFA en la seguridad en la circulación.

El porcentaje de maquinistas que informan que el sistema ASFA Digital es muy eficaz en la seguridad en la circulación es mayor que el porcentaje de maquinistas que informaron de la misma eficacia para dispositivo ASFA (gráfico 3)

Eficacia del dispositivo en la seguridad en la circulación

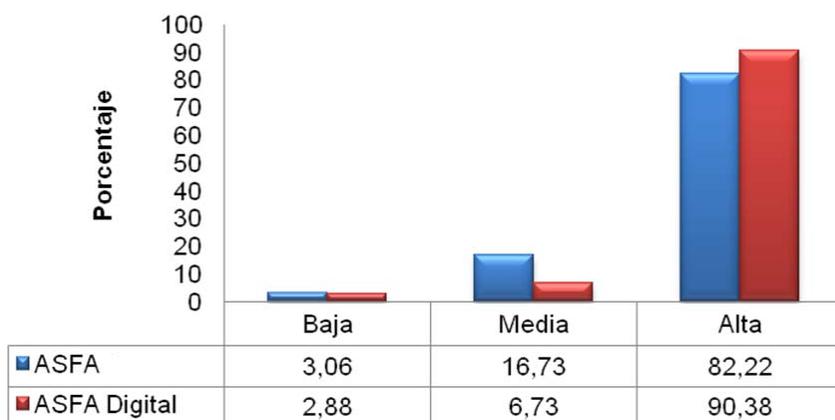


Gráfico 3. Eficacia del ASFA vs ASFA Digital en la seguridad en la circulación.

Para comprobar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre el porcentaje de maquinistas que indicaron que el ASFA era muy eficaz (82,22%) y el porcentaje de maquinistas que indican que el ASFA Digital es muy eficaz (90,38%), se ha realizado un contraste de hipótesis (tabla 11).

Hipótesis	Estadístico de contraste	Valor
$H_0: \pi_1 \geq \pi_2$ $H_1: \pi_1 < \pi_2$	$Z = \frac{P_1 - P_2}{\sqrt{P(1 - P)\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$	$Z = -2.475$

Tabla 11. Contraste de hipótesis para dos proporciones de muestras independientes

El porcentaje de sujetos que afirma que el ASFA Digital es muy eficaz en la seguridad en la circulación (P_1), es significativamente mayor ($Z=-2.457$; $p<0.01$) que el porcentaje de maquinistas que indicaban que el ASFA era muy eficaz para la seguridad en la circulación (P_2).

3.1.2. Valoración de los pulsadores del pupitre de conducción

En el pupitre de conducción se implementaron tres pulsadores (imagen 6):

- Reconocimiento de anuncio de parada (y de parada inmediata),
- Reconocimiento de preanuncio de parada/vía libre condicional.
- Reconocimiento de anuncio de precaución.



Imagen 6. Pulsadores implementados en el pupitre

El 85% de los conductores indican que los cambios introducidos en los pulsadores del pupitre de conducción han contribuido a mejorar la seguridad en la circulación (gráfico 4) y, la gran mayoría de ellos consideran que los tres pulsadores han tenido una aportación muy importante en la mejora de la seguridad en la circulación.

Eficacia pulsadores pupitre de conducción

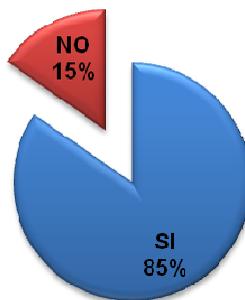


Gráfico 4. Eficacia de los pulsadores del pupitre de conducción

3.1.3. Valoración de cada uno de los pulsadores

Pulsador de reconocimiento de anuncio de parada (parada inmediata): el 68,27% de los sujetos consideran ha contribuido bastante a mejorar la seguridad en la conducción (gráfico 5).

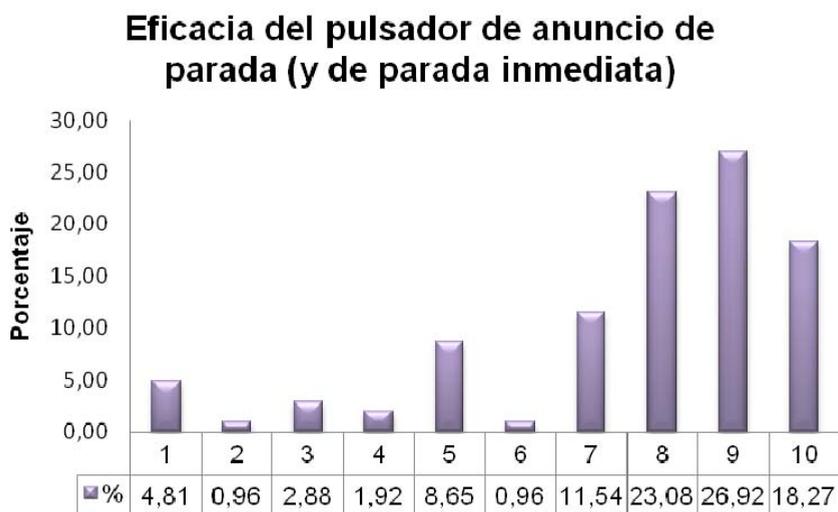


Gráfico 5. Eficacia del pulsador de anuncio de parada (y de parada inmediata)

Pulsador de preanuncio de parada / vía libre condicional: el 53,85% de conductores (gráfico 6) afirman que este pulsador ha contribuido bastante a la mejora de la seguridad.

Eficacia del pulsador de preanuncio de parada/vía libre condicional

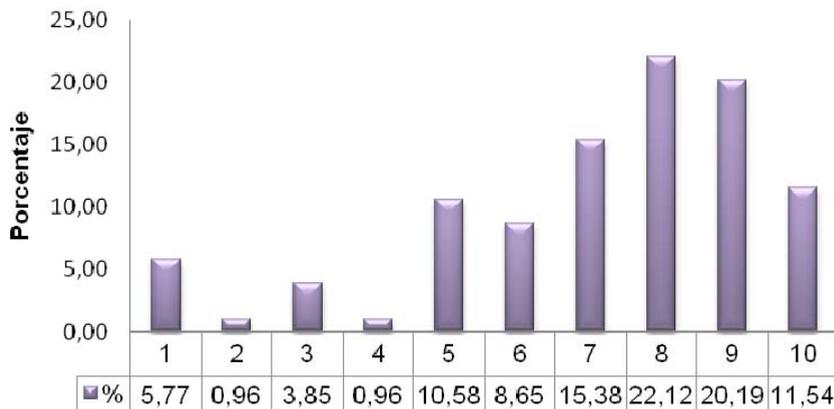


Gráfico 6. Eficacia del pulsador de preanuncio de parada/vía libre condicional

Pulsador de reconocimiento de anuncio de precaución: un 64,42% de los conductores (gráfico 7) indican que este pulsador ha contribuido bastante a la mejora de la seguridad.

Eficacia del pulsador de reconocimiento de anuncio de precaución

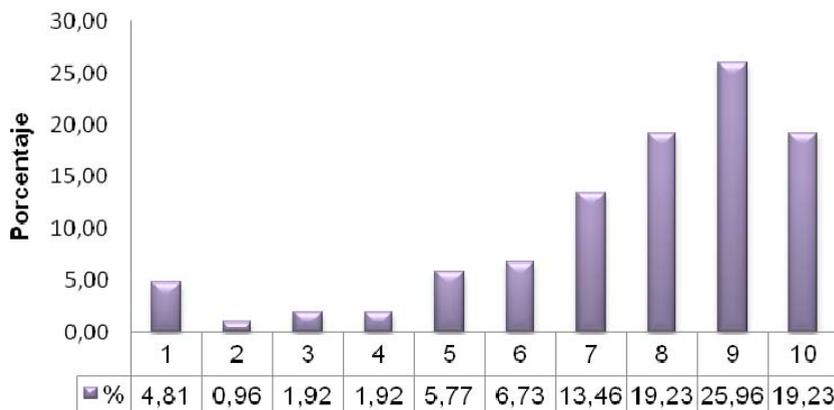


Gráfico 7. Eficacia del pulsador de reconocimiento de anuncio de precaución

3.1.4. Valoración del display del ASFA Digital

Casi todos los conductores (98%) indican que la introducción del display en la cabina ha contribuido a mejorar la seguridad en la conducción (gráfico 8).

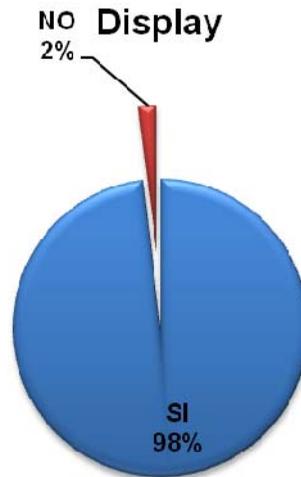


Gráfico 8. Eficacia del display

3.1.5. Valoración de los elementos del display.

El display del ASFA DIGITAL presenta once elementos de información a los conductores (imagen 7):

- Velocidad real/velocidad del selector de velocidades.
- Indicador de control final.
- Indicador de eficacia.
- Indicador de sobrevelocidad.
- Indicador del freno de emergencia.
- Indicador de modalidad
- Indicador de Paso a Nivel sin protección
- Indicador de control de paso por desvío.

- Indicador de limitación temporal de velocidad.
- Indicador de la última información ASFA recibida.
- Indicador de tipo de tren.



Imagen 7. Display instalado en cabina

Velocidad real del vehículo/Velocidad del selector de velocidades de la conexión y puesta en marcha del equipo: el 58,65% de los maquinistas lo consideran bastante eficaz (gráfico 9).

Eficacia del indicador de velocidad real/velocidad del selector

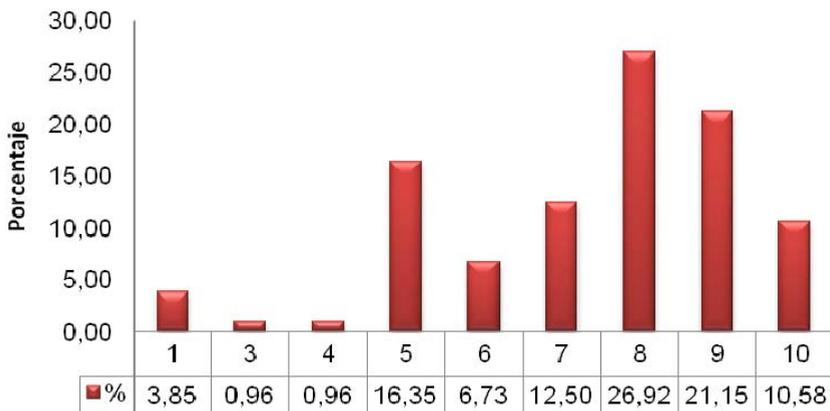


Gráfico 9. Eficacia del indicador de velocidad real/velocidad del selector de velocidades

Indicador de control final: el 64,42 % de los conductores (gráfico 10) indican el indicador de control final ha contribuido bastante en la mejora de la seguridad en la conducción.

Eficacia del indicador de control final

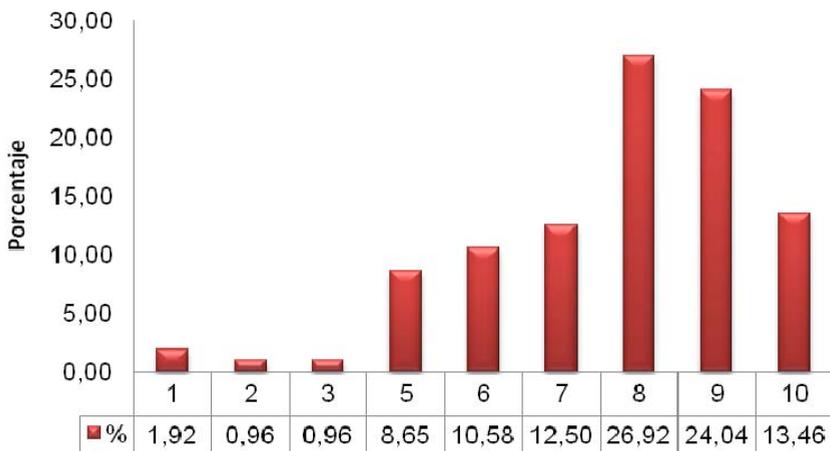


Gráfico 10. Eficacia del indicador de control final

Indicador de eficacia: el 48,08% de los maquinistas estiman que ha sido bastante eficaz en la mejora de la seguridad (gráfico 11).

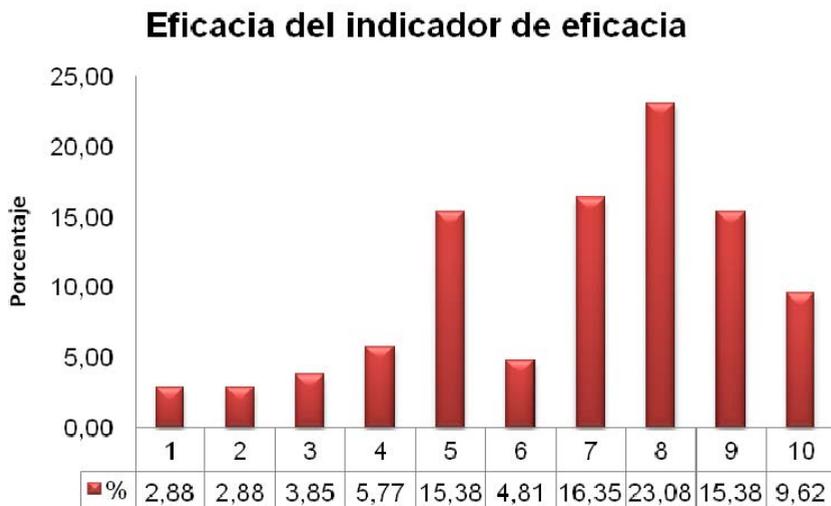


Gráfico 11. Eficacia del indicador de eficacia

Indicador de sobrevelocidad: el 62,51% de los maquinistas valoran como bastante eficaz el indicador de sobrevelocidad en la mejora de la seguridad en la circulación (gráfico 12).

Eficacia del indicador de sobrevelocidad

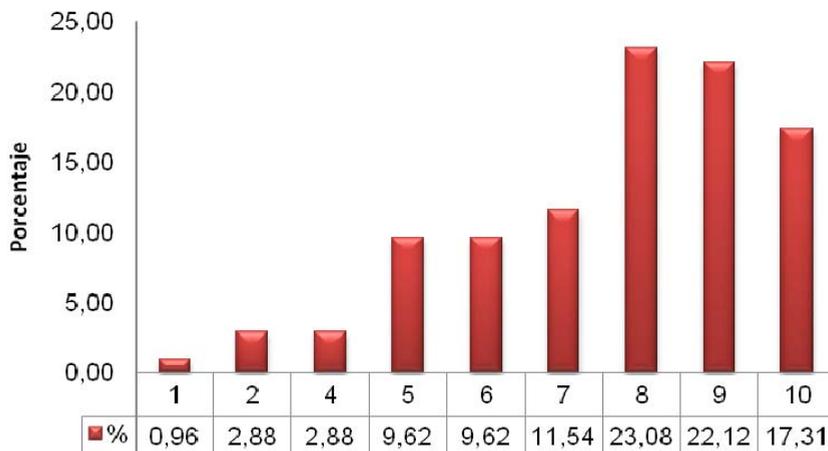


Gráfico 12. Eficacia del indicador de sobrevelocidad

Indicador del Freno de Emergencia: el 55,16% de la muestra lo consideran bastante eficaz a la hora de mejorar la seguridad (gráfico 13).

Eficacia del indicador de freno de emergencia

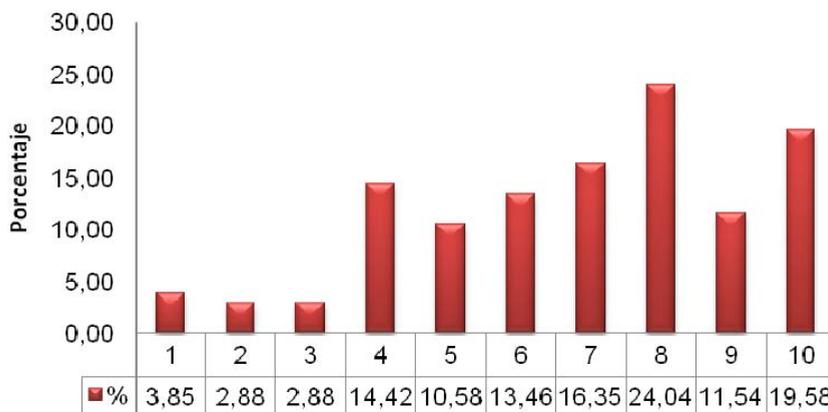


Gráfico 13. Eficacia del indicador de freno de emergencia

Indicador de Modalidad: el 56,73% de los conductores estiman que el indicador de modalidad ha sido bastante eficaz en la mejora de la seguridad (gráfico 14).

Eficacia del indicador de modalidad

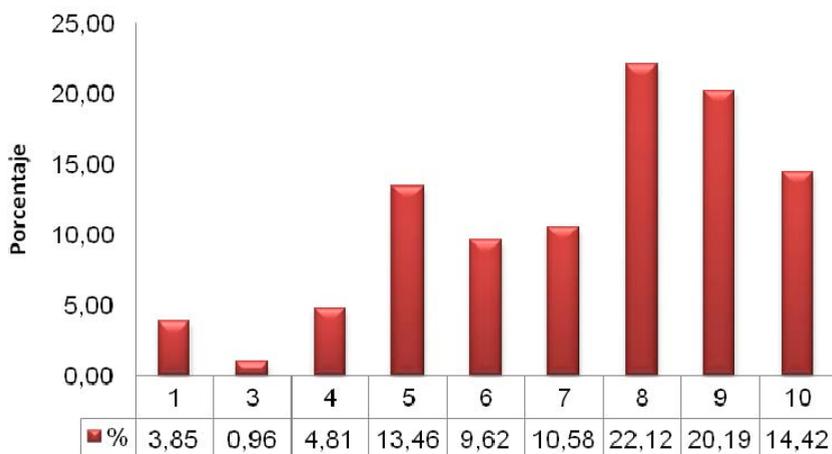


Gráfico 14. Eficacia del indicador de modalidad

Indicador del Control de Paso a Nivel (PaN) sin protección: el 70,2% de maquinistas considera que ha contribuido en gran medida a mejorar la seguridad (gráfico 15).

Eficacia del indicador de control de PaN sin protección

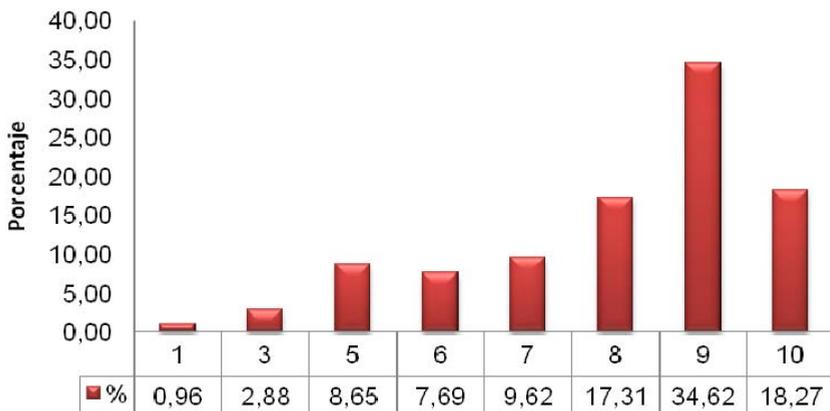


Gráfico 15. Eficacia del indicador de control de PaN sin protección

Indicador de control de paso por desvío: el 75,97% de los conductores consideran que dicha indicación ha contribuido bastante a mejorar la seguridad (gráfico 16).

Eficacia del indicador de paso por desvío

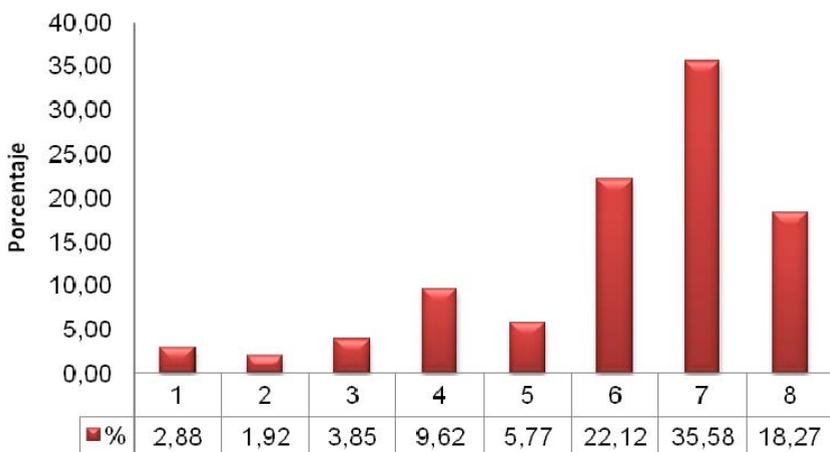


Gráfico 16. Eficacia del indicador de paso por desvío

Indicador de control de limitación temporal de velocidad: un 75,96% de la muestra considera que este indicador ha sido bastante eficaz en la mejora de la seguridad (gráfico 17).

Eficacia del indicador de control de limitación temporal de velocidad

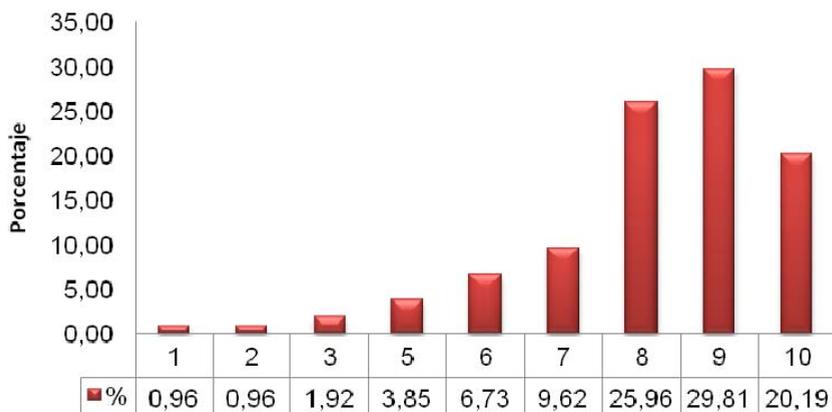


Gráfico 17. Eficacia del indicador de control de limitación temporal de velocidad

Indicador de la última información ASFA recibida: el indicador que informa sobre la última información ASFA recibida ha sido considerado por el 88,46% de los maquinistas como bastante importante para mejorar la seguridad en la conducción (gráfico 18).

Eficacia del indicador de última información ASFA recibida

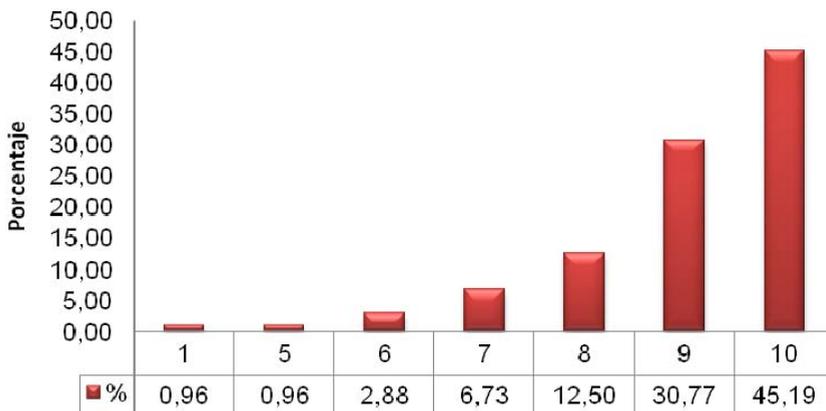


Gráfico 18. Eficacia del indicador de última información ASFA recibida

Indicador de tipo de tren: es considerada por un 55,57% de la muestra como bastante eficaz para mejorar la seguridad (gráfico 19).

Eficacia del indicador de tipo de tren

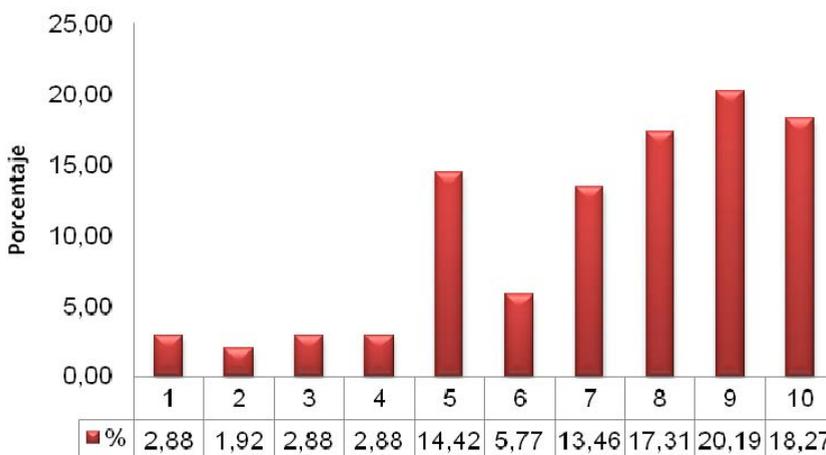


Gráfico 19. Eficacia del indicador de tipo de tren

3.1.6. Valoración de la acústica

La valoración de los conductores sobre los indicadores acústicos, ha sido muy positiva. El 56,73% de los sujetos (gráfico 20) consideran que la acústica del sistema ASFA Digital ha mejorado bastante.

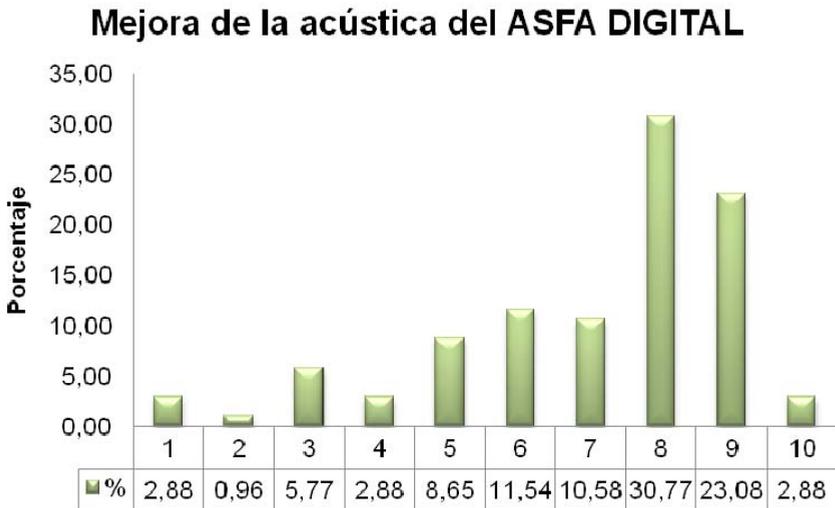


Gráfico 20. Mejora en la acústica introducida en el ASFA Digital

El 50,96% de los maquinistas indican que los nuevos tonos asociados al exceso de velocidad han contribuido a disminuir las actuaciones del freno de emergencia (gráfico 21).

Nuevos tonos exceso de velocidad

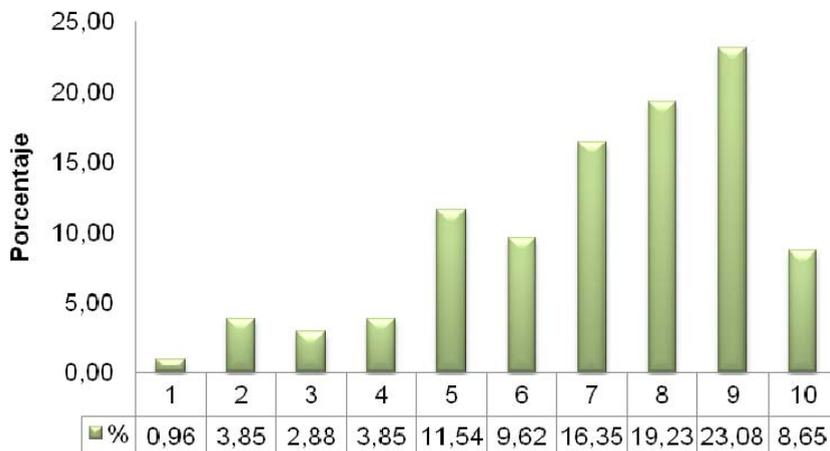


Gráfico 21. Capacidad de los tonos para disminuir los frenados de emergencia

Por último, respecto a la valoración de si la intensidad de los tonos del ASFA Digital mantiene la alerta en la conducción, el 50% de la muestra (gráfico 22) considera que la intensidad de los nuevos tonos mantiene en gran medida la alerta en la conducción.

Intensidad de los tonos mantiene alerta en conducción

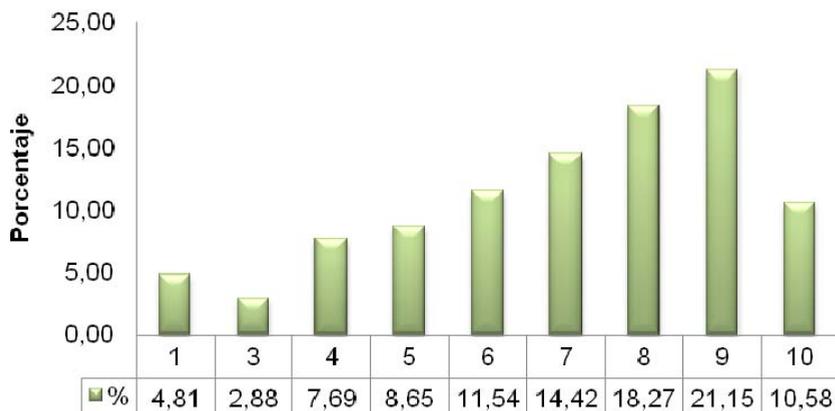


Gráfico 22. Capacidad de los tonos para mantener la alerta

3.1.7. Valoración de los elementos del panel repetidor

En el panel repetidor del sistema ASFA Digital, se introdujeron ocho indicaciones o pulsadores (imagen 9):

- Reconocimiento de PaN sin protección.
- Reconocimiento de limitación temporal de velocidad.
- Indicación de aumento de velocidad de control final.
- Indicación de rebase autorizado.
- Indicación de conexión.
- Indicación de reconocimiento de alarma.
- Indicación de rearme de freno.
- Indicación de ocultación.



Imagen 9. Panel repetidor instalado en cabina

El 85% de los maquinistas (gráfico 23) considera que la información adicional que se ha introducido en el panel repetidor del sistema ASFA Digital ha contribuido a mejorar la seguridad en la conducción.

Información en panel repetidor.



Gráfico 23. Eficacia de la información del panel repetidor

Reconocimiento de PaN sin protección: el 66,35% de la muestra (gráfico 24) considera que la introducción del pulsador de reconocimiento de PaN sin protección ha contribuido bastante a mejorar la seguridad.

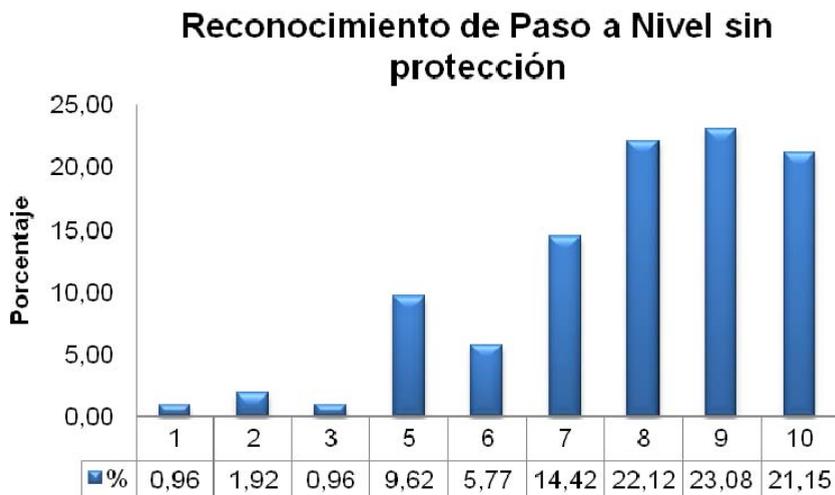


Gráfico 24. Eficacia del reconocimiento de PaN sin protección

Reconocimiento de limitación temporal de velocidad: el 71,15% de los maquinistas (gráfico 25) considera que la introducción de este elemento en el panel repetidor mejora bastante la seguridad.

Reconocimiento de limitación temporal de velocidad

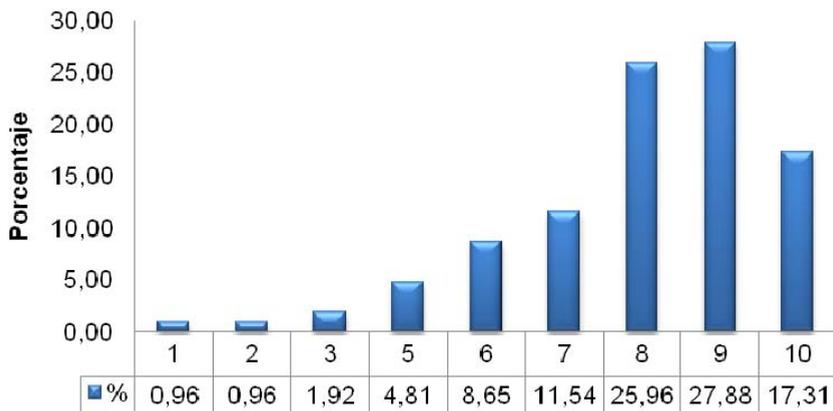


Gráfico 25. Eficacia del reconocimiento de limitación temporal de velocidad

Indicación de aumento de velocidad de control final: el 47,12% de los maquinistas considera que este indicador ha contribuido bastante en la mejora de la seguridad (gráfico 26).

Indicación de aumento de velocidad de control final

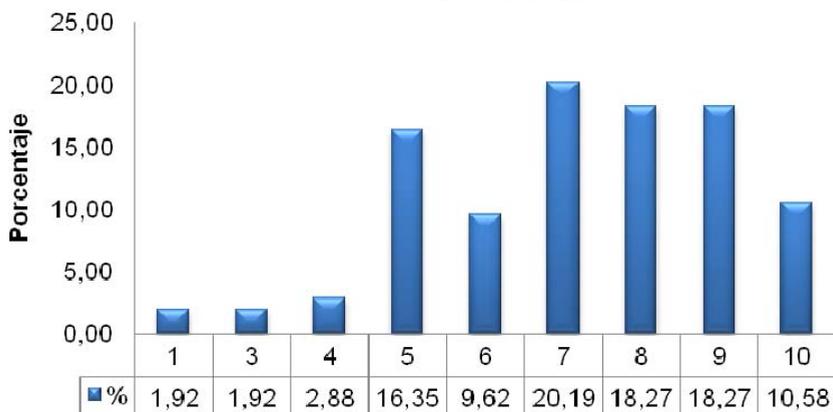


Gráfico 26. Eficacia de la indicación de aumento de velocidad de control final

Indicación de rebase autorizado: el 67,31% de la muestra (gráfico 27) considera que la indicación de rebase autorizado ha contribuido en gran medida a mejorar la seguridad.

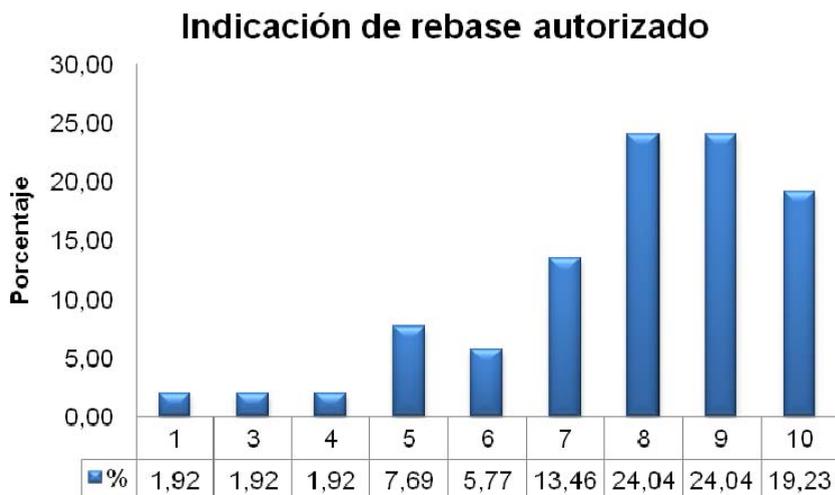


Gráfico 27. Eficacia de la indicación de rebase autorizado

Indicación de conexión: el 44,23% (gráfico 28) de los maquinistas indica que este indicador ha contribuido bastante a la mejora de la seguridad.

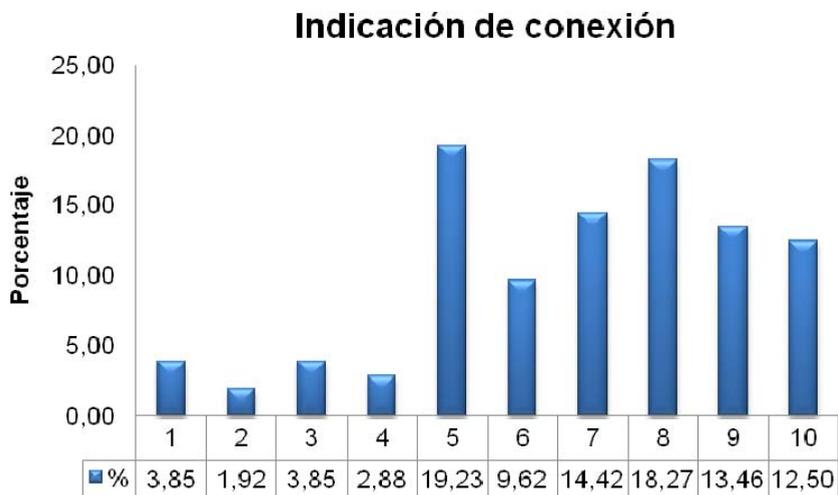


Gráfico 28. Eficacia de la indicación de conexión

Indicación de reconocimiento de alarma: el 46,16% de la muestra (gráfico 29) considera esta indicación ha contribuido bastante a mejorar la seguridad.

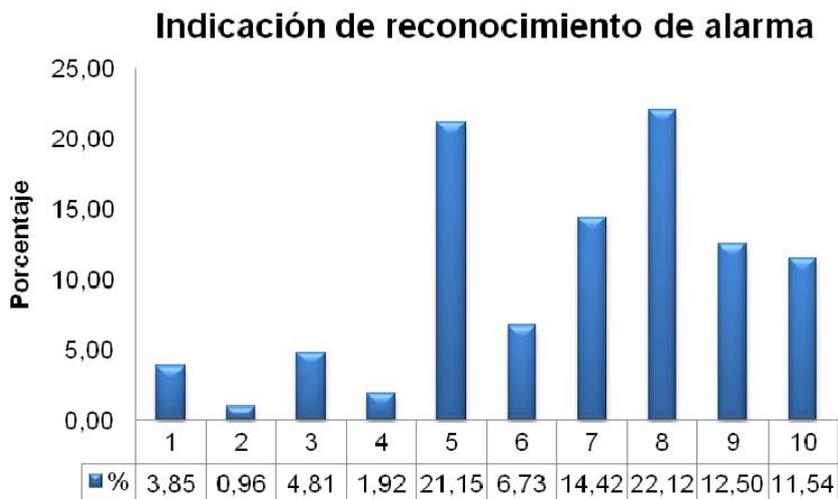


Gráfico 29. Eficacia de la indicación de reconocimiento de alarma

Indicación de rearme de freno: el 48,07% de los maquinistas (gráfico 30) considera que esta indicación contribuye bastante a mejorar la seguridad.

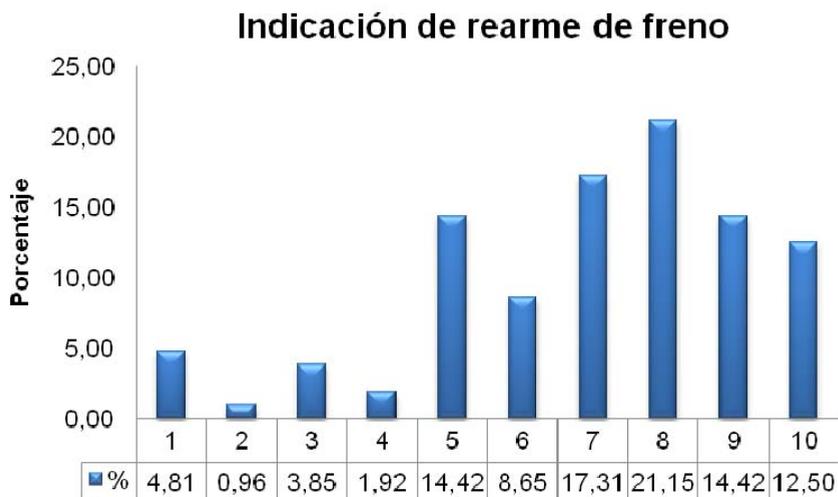


Gráfico 30. Eficacia de la indicación de reconocimiento de alarma

Indicación de ocultación: un 34,61% de la muestra (gráfico 31) considera que dicha indicación ha contribuido en bastante a la mejora de la seguridad.

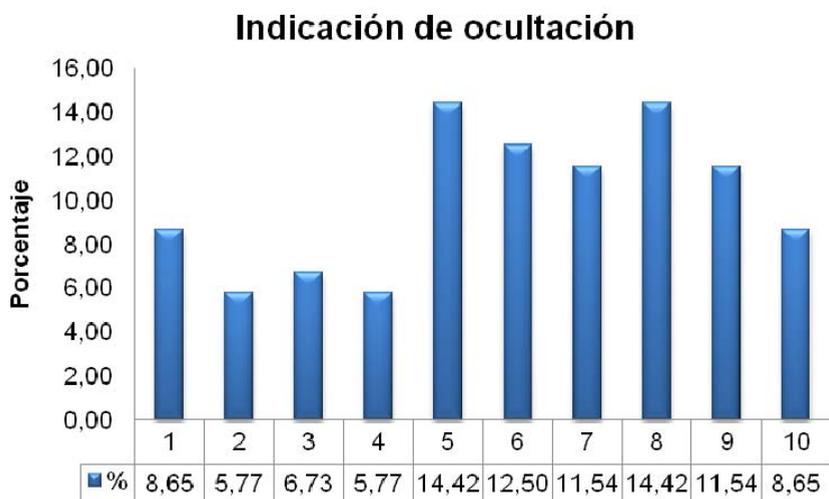


Gráfico 31. Eficacia de la indicación de ocultación

3.1.8. Valoración de la conducción en modo degradado

El último aspecto a valorar del sistema ASFA Digital fue la conducción en modo degradado. El 77% de los maquinistas (gráfico 32) indica que ha conducido alguna vez con el modo degradado del ASFA Digital.

Conducción con modo degradado



Gráfico 32. Conducción en modo degradado

Del 77% de maquinistas que han conducido con el modo degradado del ASFA Digital, el 58% informan haberlo hecho en pocas ocasiones (gráfico 33), el 29% en alguna ocasión. Solo un 13% de los maquinistas han conducido bastante-muchas veces en este modo del ASFA Digital.

Veces conducción con modo degradado

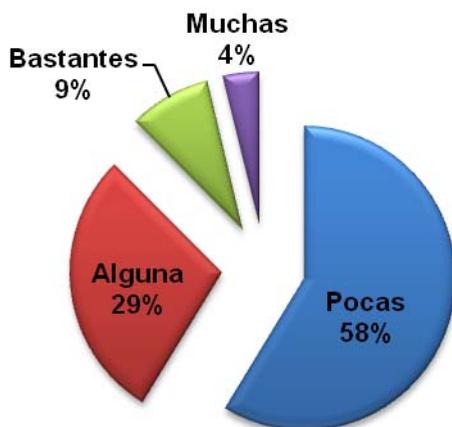


Gráfico 33. Veces que han conducido en modo degradado

En cuanto a la valoración que hacen los maquinistas sobre la contribución que ha tenido el modo degradado en la mejora de la seguridad en la conducción, únicamente el 38,75% considera que ha contribuido bastante (gráfico 34).

Contribución del modo degradado del ASFA DIGITAL

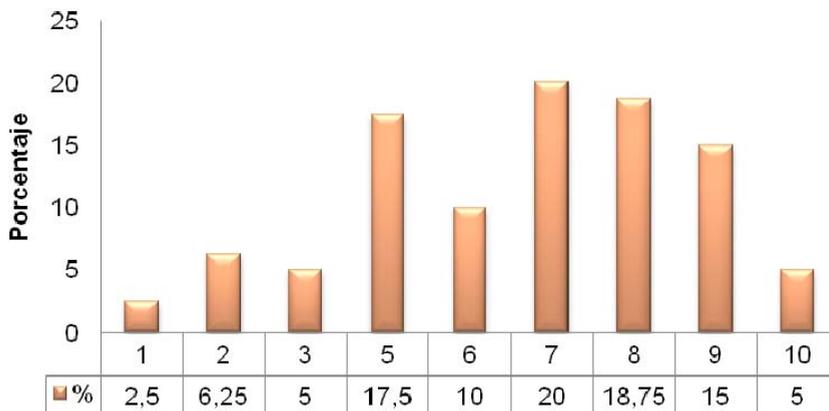


Gráfico 34. Eficacia del modo degradado

Por último, se analizó la valoración dada por los maquinistas en función de la experiencia que tenían conduciendo en modo degradado. No se encuentran diferencias importantes entre la valoración que hacen los maquinista que han conducido pocas veces y los que han conducido bastantes veces con el modo degradado del ASFA Digital (gráfico 35).

Contribución del modo degradado del ASFA DIGITAL

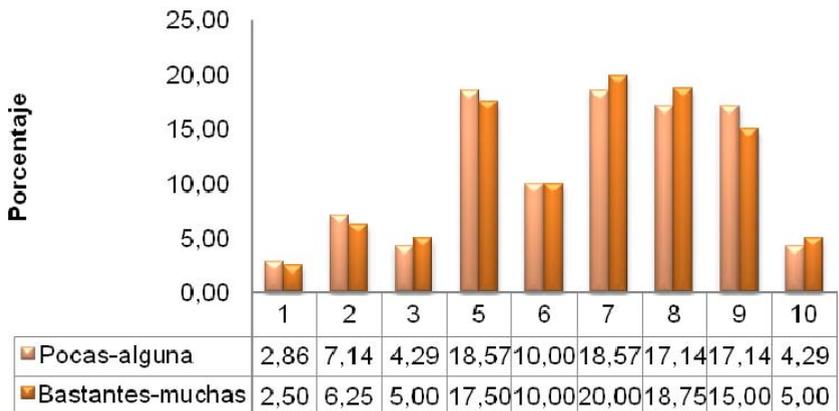


Gráfico 35. Eficacia del modo degradado en función de la experiencia

3.2. Análisis de los rebases de señal

Para analizar la influencia que el dispositivo ASFA Digital ha tenido sobre la seguridad en la circulación, se ha realizado un análisis de la evolución de la cantidad de rebases con anterioridad y posterioridad a la implementación del ASFA Digital en las cabinas de conducción.

El número de accidentes e incidentes por rebases de señal por millón de km/tren recorridos ha ido disminuyendo de manera progresiva desde el 2007 (año en que se inicia la instalación del ASFA Digital en las cabinas); a excepción del año 2011 que se registra un pequeño incremento del número de rebases de señal en relación al año anterior.

El número de rebases de señal en el 2011 (el 82,1% del parque activo tiene instalado el ASFA Digital) es prácticamente la mitad de los rebases que se registraban antes de implementar el ASFA Digital en las cabinas (gráfico 36).

Evolución rebases de señal

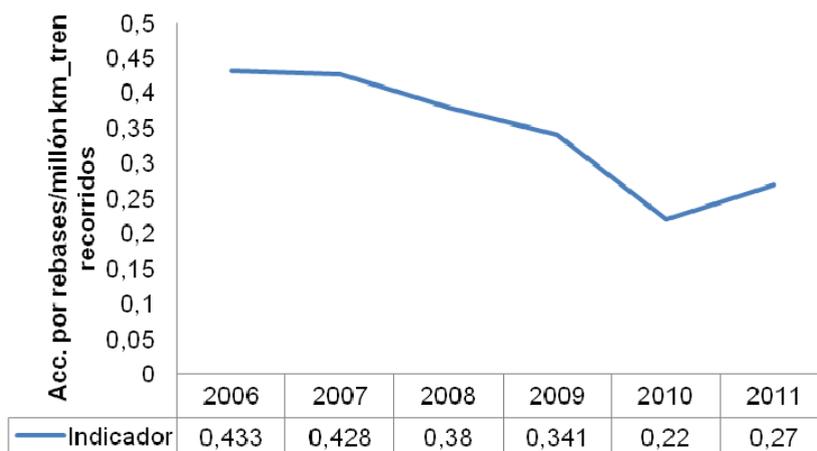


Gráfico 36. Evolución de los rebases de señal.

4. CONCLUSIONES FINALES

En el año 2005, se inició un estudio para desarrollar el dispositivo ASFA digital en el que colaboraron Renfe, Adif, Invensys Rail Dimetronic, Ineco Tifsa y la Universidad de Valencia. En este proyecto, se desarrollaron las especificaciones técnicas y funcionales del sistema Embarcado ASFA Digital. La Universidad de Valencia participó en el diseño del subsistema de presentación de indicaciones del dispositivo ASFA Digital. La última etapa de este estudio es la validación del subsistema de presentación de indicaciones, objetivo de la presente tesis doctoral.

Siguiendo las recomendaciones de estudios precedentes (Stevenson, et al., 2000), se ha dejado transcurrir cinco años, tiempo suficiente para que el dispositivo ASFA Digital se haya implementado en la mayoría de las locomotoras del parque ferroviario español y que los maquinistas tengan experiencia con el manejo del mismo.

Para alcanzar este objetivo se han considerado dos indicadores: la percepción de seguridad que los maquinistas tienen conduciendo con el dispositivo ASFA Digital y, la

evolución del número rebases de señal desde la implementación del dispositivo ASFA Digital en las locomotoras.

Los resultados obtenidos con ambos indicadores apuntan que el subsistema de presentación de indicadores del ASFA Digital ha contribuido de modo eficaz en la mejora de la seguridad en la circulación y, que la implementación del dispositivo ASFA Digital ha contribuido notablemente a la disminución de los rebases de señal.

4.1. Conclusiones

Los resultados de los análisis informan de la eficacia del subsistema de presentación de indicaciones del dispositivo sobre la seguridad en la circulación. El 90,38% de los maquinistas afirman que es muy eficaz, frente al 2,88% que indican que este dispositivo es poco eficaz.

Comparando la eficacia del subsistema del dispositivo anterior (ASFA) y la del nuevo (ASFA Digital), se comprueba que el porcentaje de maquinistas que consideran el ASFA Digital como muy eficaz sobre la seguridad en la circulación, es estadísticamente mayor ($Z=-2,475$; $p<0,01$), que los que consideraban que el ASFA era muy eficaz sobre la seguridad en la circulación. Por tanto podemos concluir que el subsistema del dispositivo de presentación de indicaciones del ASFA Digital es más eficaz que el ASFA. Se ha mejorado la información visual y acústica proporcionada al maquinista y se han optimizado los pulsadores del panel repetidor y de reconocimiento para minimizar el error humano.

En el pupitre de conducción del dispositivo ASFA Digital, se incorporaron tres pulsadores de reconocimiento: el de anuncio de parada y de parada inmediata, el de preanuncio de parada y vía libre condicional y, el de anuncio de precaución. El 85% de los maquinistas informaron que estos pulsadores han contribuido a mejorar la seguridad en la circulación. De los tres pulsadores, el que los maquinistas consideran que más ha contribuido a la mejora de la seguridad en la circulación es el de reconocimiento de anuncio de parada y parada inmediata (68,27%), seguido del de reconocimiento de anuncio de precaución (64,42%) y, en último lugar, el de reconocimiento de preanuncio de parada (53,85%). Queda totalmente justificado el aumento del número de pulsadores de reconocimiento en el

pupitre y la necesidad de asignarles la función de reconocimiento en función de la importancia de las señales. El pulsador de reconocimiento de anuncio de parada y parada inmediata se puede considerar como el más crítico de todos, pues anuncia la posibilidad de una señal de parada y por tanto, de detención del tren, siendo el más valorado de los tres. De igual forma, coincide la valoración de los maquinistas sobre la importancia del pulsador de reconocimiento de anuncio de precaución, dado que interviene en la velocidad ante los cambios e informa de una posible señal de anuncio de parada.

En cuanto a la influencia que la introducción del display ha tenido sobre la conducción, casi todos los maquinistas (98%) indican que la introducción del display en la cabina ha contribuido a mejorar la seguridad en la circulación, siendo la modificación del ASFA mejor valorada. Entre los elementos de información que se presentan en el display a los maquinistas, el que consideran que más ha contribuido a mejorar la seguridad en la circulación (88,45%), es el indicador de última información ASFA recibida.

El display se introdujo principalmente como un dispositivo complementario del ASFA de ayuda a la conducción, donde el maquinista pudiera ver a simple golpe de vista la información necesaria y suficiente para circular en condiciones de seguridad. Hay que subrayar que los factores que más relacionados están con los accidentes e incidentes por fallo de conducción en el ferrocarril son el funcionamiento inadecuado del proceso atencional (falta de atención en señales) y los lapsus de memoria del maquinista (Baysari, Caponecchia, McIntosh & Wilson, J., 2009; Baysari, McIntosh, & Wilson, 2008; McDonald & Hoffman, 1991; Reason, 1990; Reinach & Viale, 2006b). Norman (1981), ya indicó que el olvido estaba

relacionado con el desencadenamiento de errores humano en la conducción de trenes, tanto por interferencia como por decaimiento. El hecho de tener que memorizar la información de un nuevo estado de la señal interfiere con la información similar de la señal anteriormente memorizada y, el tiempo excesivo que a veces transcurre desde la presentación de la señal hasta el momento en que el maquinista debe actuar, son los principales factores relacionados con el olvido durante la tarea de conducción de trenes.

La señalización ferroviaria, a diferencia por ejemplo de la señalización vial, se interpreta siempre como una secuencia de señales, es decir, la indicación de la señal por la que el maquinista está pasando le informa del estado en el que se encontrará la siguiente señal, y por ello, es de gran importancia que el maquinista recuerde en todo momento el estado de la señal previa del cantón por donde circula.

En este sentido, la red ferroviaria española tiene la particularidad de poseer cantones de cuatro kilómetros de longitud, lo que implica que el tiempo que transcurre desde que el maquinista ve la señal y llega a la siguiente, es suficientemente grande para que se desvanezca la huella en la memoria.

El hecho que en el display se presente al maquinista la última información ASFA recibida, minimiza la probabilidad de este error y, como consecuencia, ayuda a mejorar la seguridad en la circulación, aspecto que han confirmado los maquinistas en su valoración. Del mismo modo, las valoraciones que han hecho los maquinistas de la eficacia del resto de elementos de información (imagen 11), indica que el número de elementos de información es adecuado, que la iconografía es representativa y

que los elementos más importantes están ubicados correctamente en el display.

Velocidad Real (88%)	Velocidad de control (64,42%)	Última señal (88,48%)
Sobrevelocidad (62,51%)		
Eficacia (48%), Modo (56%) y tipo de tren (55,57%)	Control de paso por desvío (76%), control de limitación temporal de velocidad (75,26%) y control de paso a nivel sin protección (70,2%)	

Imagen 11. Valoración de la información del display del ASFA Digital

La tarea de conducción de trenes requiere que el maquinista permanezca constantemente alerta, bajo condiciones de monotonía, y que responda de forma inmediata a señales críticas irregulares (Becker, Warm, Denver & Hancock, 1991; Belenky, 1997; Endo & Kogi, 1975; Mackie, 1987; Toledo-Castillo, Sospedra-Baeza, Figueres-Esteban, Lloret-Catalá & Hidalgo-Fuentes, 2008; Toledo-Castillo, Sospedra-Baeza, Figueres-Esteban, Lloret-Catalá & Hidalgo-Fuentes, 2009). Para minimizar los errores humanos relacionados con la falta de alerta durante la conducción, en el subsistema de presentación de informaciones del ASFA Digital, se incluyeron varios avisos acústicos con la finalidad de mantener la alerta.

Los maquinistas informan que la intensidad de los avisos acústicos han contribuido en gran medida a lograr que estuvieran más alerta durante la conducción (tabla 6) y esto, junto con los nuevos tonos implementados en el sistema asociados al exceso de velocidad, ha logrado disminuir las actuaciones del freno de emergencia y minimizar los errores humanos durante la conducción relacionados con la falta de alerta y la monotonía.

En el panel repetidor del subsistema de presentación de indicaciones del dispositivo ASFA Digital, se redistribuyeron los pulsadores en función de su importancia en la conducción y se introdujo información adicional. Se reemplazó la información en texto por pictogramas relacionados con la función del pulsador para facilitar el procesamiento de la información y reducir la carga mental. El 85% de los maquinistas considera que la información adicional incluida en el panel repetidor ha contribuido a mejorar la seguridad en la circulación.

La importancia de los pulsadores se diferenció mediante su ubicación y forma. Los cuatro pulsadores de forma cuadrada, tal y como confirman los maquinistas, son los más relevantes para la seguridad y los que requieren acciones más frecuentes. Tanto los cuatro pulsadores circulares como el resto de indicaciones afectan, según la valoración de los maquinistas, en menor medida a la seguridad.

El pulsador de reconocimiento de limitación temporal de velocidad (71,15%), la indicación de rebase autorizado (67,31%) y el pulsador de reconocimiento de PaN sin protección (66,35%) han sido los elementos que los maquinistas indican que más han contribuido a mejorar la seguridad en la circulación.

El hecho que el maquinista tenga que actuar sobre los elementos del panel repetidor, influye sobre la atención y evita los errores asociados a la conducción automática, provocada por la monotonía. La atención sostenida o vigilancia durante la ejecución de la tarea constituye un problema bien conocido en el ámbito del ferrocarril (Endo & Kogi, 1975; Hancock & Warm, 1989; Warm, 1984). La tarea de conducción de trenes requiere que el conductor permanezca constantemente alerta, bajo condiciones de monotonía, y que responda de forma inmediata a señales críticas irregulares (Becker, Warm, Denver & Hancock, 1991; Belenky, 1997; Endo & Kogi, 1975; Mackie, 1987; Toledo-Castillo, Sospedra-Baeza, Figueres-Esteban, Lloret-Catalá & Hidalgo-Fuentes, 2008; Toledo-Castillo, Sospedra-Baeza, Figueres-Esteban, Lloret-Catalá & Hidalgo-Fuentes, 2009).

Por último, de entre los maquinistas que habían conducido en modo degradado el 38,75%, informan que ha contribuido bastante a la seguridad en la circulación.

Uno de los incidentes ferroviarios más frecuentes debido al error humano y que puede llegar a provocar accidentes graves son los debidos al rebase de una señal de parada. Una señal está en estado de parada cuando se quiere proteger el cantón que ocupa otro tren o un tramo de vía que regula la circulación (enclavamiento). El hecho de rebasar una señal implica invadir el cantón de otro tren aumentando la probabilidad de colisionar con él (Stanton & Walker, 2011). Ante los enclavamientos (zona en el que se mueven los carriles-agujas- para redirigir la circulación del tren), dado que las agujas se están modificando en el momento en que el tren pasa sobre ellas, el tren puede descarrilar. Por ello, se ha considerado en el estudio como indicador objetivo de la bondad

del dispositivo sobre la accidentalidad, el número de rebases de señal de parada.

Desde la implantación del ASFA Digital se ha reducido considerablemente el número de rebases de señal reduciendo los niveles de riesgo de colisión y descarrilamiento debidos a error humano.

4.2. Recomendaciones

Respecto a los indicadores de accidentalidad, se recomienda obtener y analizar datos de accidentalidad que proporcionen otro tipo de indicadores asociados a la frecuencia de accidentes debidos a error humano y a los daños a personas de los mismos. De este modo se podría confirmar que accidentes con víctimas debidos a errores humanos asociados a las secuencias de señalización ferroviaria han sido prácticamente eliminados desde la implantación del ASFA Digital.

No existen estudios de validación a largo plazo de la eficacia del diseño de dispositivos que afectan a la seguridad ferroviaria bajo criterios ergonómicos y del usuario final. Por tanto se recomienda realizar este tipo de estudios para obtener información que permita a los fabricantes realizar diseños que minimicen el error humano e intentar armonizar y validar bajo criterios científicos las recomendaciones ergonómicas en el diseño de dispositivos en el ámbito ferroviario.

5. REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

Aarås, A., Fosterwold, K. I., Ro, O., Thorensen, M., & Larsen, S. (1997). Postural load during VDU work: a comparison between various work postures, *Ergonomics*, 40(11), pp. 1255-1268.

Abemethy, B. (1988). Visual search in sport and ergonomics: Its relationship to selective attention and performer expertise, *Human Performance*, 1(4), pp. 205-235.

Åberg, L. (1988). Driver behavior at flashing-light, rail-highway crossings. *Accident Analysis & Prevention*, 20(1), pp. 59-65.

Adams, A. S., & Edworthy, J. (1995). Quantifying and predicting the effects of basic text displays variables on the perceived urgency of warning labels: trade offs involving font size, border weight and colour. *Ergonomics*, 38(11), pp. 2221-2237.

Adams-Guppy, J., & Guppy, A. (2003). Truck driver fatigue risk assessment and management: a multinational survey. *Ergonomics*, 46(8), pp. 763-779.

Åhsberg, E. (1998). Perceived fatigue related to work. National Institute for Working Life. *Psychology*. Solna, Sverige: Tryckt ho CM Gruppen.

Aldrich, T., Szabo, S., & Bierbaum, G.R. (1988). The development and application of models to predict operator workload during system design. En: McMillan, G., et al. (Eds.), *Applications of Human Performance Models to System Design*. New York: Plenum Press.

Amditis, A., Polychronopoulos, A., Andreone, L. & Bekiaris, E. (2006). Communication and interaction strategies in automotive adaptive interfaces. *Cognition, Technology & Work*, 8(3), pp. 193–199.

Anderson, J.R. (1995). *Cognitive Psychology and Its Implications* (4^a ed.). New York: Freedman.

Antin, J.F., & Wierwille, W.W. (1984). Instantaneous measures of mental workload: An initial investigation. *Proceedings of the human factors society 28th annual meeting*, pp. 6-10. Santa Mónica, C.A: Human Factors Society.

Arquer, I. (2000). Carga mental de trabajo: factores. *Notas técnicas de prevención*. Madrid: INSHT, NTP 534.

Arquer, I., & Nogareda, C. (1999). Estimación de la carga mental de trabajo: el método NASA TLX. *Notas Técnicas de Prevención*. Madrid: INSHT, NTP 544.

Arquer, I., & Nogareda, C. (2000). Carga mental de trabajo: indicadores. *Notas técnicas de prevención*. Madrid: INSHT, NTP 575.

Artacoz, L. (2001). Factores de riesgo psicosocial y carga mental: ¿estamos midiendo lo mismo o son conceptos diferentes?. *Archivos de prevención de riesgos laborales*, 4(3), pp. 91-92.

Austin, R. D., & Carson, J. L. (2002). An alternative accident prediction model for highway-rail interfaces. *Accident, Analysis and Prevention*, 34(1), pp. 31-42.

Ballas, A. (1993). Common factors in the identification of an assortment of brief everyday sounds, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19(2), pp. 250–267.

Banyard, P., Cassells, A., Green, P., Hartland, J., Hayes, N.I., & Reddy, P. (1991). *Introduction to cognitive processes*. London: British Psychological Society.

Barrass, S., & Frauenberger, C. (2009). A communal map of design in auditory display. *Proceedings of the 15th International Conference on Auditory Display*, Copenhagen, Denmark, May 18-22.

Baysari, M.T., McIntosh, A.S., & Wilson, J. (2008). Understanding the human factors contribution to railway accidents and incidents in Australia. *Accident Analysis and Prevention* 40(5), 1750–1757.

Baysari, M.T., Caponecchia, C., McIntosh, A.S., & Wilson, J., (2009). Classification of errors contributing to rail incidents and accidents: A comparison of two human error identification techniques. *Safety Science* 47(7), 948–957

Becker, A.B., Warm, J.S., Dember, W.N., & Hancock, P.A. (1991). Effects of feedback on perceived workload in vigilance performance. *Proceedings of the human factors society 33rd annual meeting*, 1491-1494. Santa Mónica, C.A: Human factors and ergonomics society.

Belenky, G. (1997). *Sustaining performance during continuous operation: the U.S army's sleep management system*. International Conference Proceedings on Managing Fatigue in Transportation. Tampa, Florida, 1997.

Best, J.B. (1995): *Cognitive psychology* (4th edition), St. Paul, MN: West Publishing.

Bi, S. & Salvendy, G. (1994). A proposed methodology for the prediction of mental workload based on engineering system parameters. *Work and stress*, 8(4), pp. 355-371.

Branton, R. (1979). Investigations into the skills of train driving. *Ergonomics*, 22(2), pp. 155–164.

Branton, P. (1993). Train drivers' attentional states and the design of driving cabins. En: Osborne, D.J., Branton, R., Leal, F., Shirley, P. & Stewart, T. (Eds.), *Person-Centred Ergonomics*. London: Taylor & Francis, pp. 97–110.

Brazil, E., & Fernstrom, M. (2007). Investigating ambient auditory information systems. En *Proceedings ICAD07. 2007*, pp. 326–333. Schulich School of Music, McGill University.

Bregman, A. (1990). *Auditory Scene Analysis: The Perceptual Organization of sound*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA.

Brewster, S.A. (1994). Providing a structured method for integrating non-speech audio into human-computer interfaces (Thesis Doctoral), University of York, UK.

Brewster, S.A., Wright, P.C., & Edwards, A.D.N. (1993). An evaluation of ear cons for use in auditory human computer interfaces, En *INTERCHI '93: Proceedings of the INTERCHI '93 conference on Human factors in computing systems*, Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, 1993, pp. 222–227, IOS Press.

Brewster, S.A., & Clarke, C.V. (2005). The design and evaluation of a sonically enhanced tool palette, *ACM Transactions on Applied Perception*, 2(4), pp. 455–461.

Briem, V., De Lima, S., & Siotis, C. (2007). Train Drivers and fatal accidents on the rails: psychological aspects and safety. En: Wilson J. et al. (Eds). *People and Rail Systems: Human Factors at the Heart of the Railway*, London: Ashgate Publishing, Ltd., pp. 103-113.

Brock, D., Ballas, J.A., Stroup, J.L., & McClimens, B. (2004). The design of mixed-use virtual auditory displays: Recent findings with a dual-task paradigm. En Barrass S. and Vickers P. (eds), *Proceedings of the 10th International Conference on Auditory Display (ICAD2004)*, Sydney, Australia. International Community for Auditory Display (ICAD).

Buchanan, K., Davis, G., & Roels, R. (2007). An Ergonomics Methodology for Retrofitting Equipment in Train Cabs. En: Wilson J. et al. (Eds). *People and Rail Systems: Human Factors at the Heart of the Railway*, London: Ashgate Publishing Ltd., pp. 137-153.

Bunce, D., & Sisa, L. (2002). Age differences in perceived workload across a short vigil. *Ergonomics*, 45(13), pp. 949-960.

Butrej, T. (1997). Fatigue and driving performance. *The Lamp*, 54(6), pp. 31-32.

Cacciabue, P.C. (2005). Human error risk management methodology for safety audit of a large railway organisation, *Applied Ergonomics*, 36(6), 709-718.

Cañas, J. J., Quesada, J. F.; Antolí, A., & Fajrdo, I. (2003). Cognitive flexibility and adaptability to environmental changes in dynamic complex problem-solving tasks. *Ergonomics*, 46(5), pp. 482-501.

Cañas, J.J., & Waerns, Y. (2001). Ergonomía cognitiva. Aspectos psicológicos de la interacción de las personas con la tecnología de la información. Madrid: Editorial Médica Panamericana.

Card, S.K., Moran, T.P., & Newell, A. (1983). *The Psychology of Human Computer Interaction*. Lawrence Erlbaum, New Jersey.

Carey, M.S. (1992): A Position Paper on Human Factors Approaches for the Design of VDU Interfaces to Computer-Based Railway Signaling Systems (Report No 46/1992). Warrington WA3 7BH: Health & Safety Executive.

Carr, T.H. (1980): Consciousness in models of human information processing: primary memory executive control and input regulation. En G. Underwood y R. Stevens (Eds.): *Aspects of consciousness. Vol. I. Psychological issues*. New York: Academic Press.

Carretero, R.M. (1994). *La iluminación en los lugares de trabajo. Documento Técnico 75:94*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Castro, C.; Sospedra-Baeza, M.J., & Figueres-Esteban, M. (2006). Acoustic and Tactile Signs in Cab: Additional Modalities to Visual Signs in Railway Machines. *Vision in Vehicles 11*. Loughborough University. Trinity College, Dublin: Ireland.

CENELEC EN-50126 (2005). Aplicaciones Ferroviarias. Especificación y demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad (RAMS).

Clarke, S. (1996): The effect of habit as a behavioral response in risk reduction programs, *Safety Science*, 22 (1-3), 163-175.

Clarke, S. (1998): Safety culture in the UK railway network. *Work & Stress: An International Journal of Work, Health & Organisations*, 12(3), 285–292.

Clarke, S. (1999): Perceptions of organizational safety: implications for the development of safety culture. *Journal of Organizational Behavior*, 20(2), 185-198.

Coleman, G. W., Macaulay, C., & Newell, A. F. (2008). Sonic Mapping – Towards Engaging the User in the Design of Sound for Computerized Artifacts. *Proceedings of the 5th Nordic conference on Humancomputer interaction building bridges*, pp. 18-22. ACM.

Collis, L., & Robins, P. (2001). *Developing Appropriate Automation for Signaling and Train Control on High Speed Railways*. People in Control: The Second International Conference on Human Interfaces in Control Rooms, Cockpits and Command Centers, Manchester, 19–21 June 2001. Institution of Electrical Engineers, London, pp. 255–260.

Collis, L., & Schmid, F. (2001). *Human-centered design for railway applications*. En Noyes, J. & Bransby, M. (Eds.), *People in Control : Human factors in control room design*. The Institution of Electrical Engineers, Columbus OH: Ohio State University, pp. 273–291.

Comisión Europea (2001). LIBRO BLANCO. La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad. 12.9.2001.COM(2001), 370 final. Bruselas.

Comisión Europea (2006). Especificación técnica de interoperabilidad referente al subsistema de control y mando y señalización del sistema ferroviario transeuropeo convencional. Diario Oficial de la Unión Europea, L 284/1.

Comisión Europea (2007). Especificación técnica de interoperabilidad del subsistema de infraestructura del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad. Diario Oficial de la Unión Europea, L 77/1.

Comisión Europea (2008a). Especificación técnica de interoperabilidad del subsistema «explotación» del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad. Diario Oficial de la Unión Europea, L 84/1.

Comisión Europea (2008b). Especificación técnica de interoperabilidad del subsistema de material rodante del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad. Diario Oficial de la Unión Europea, L 84/132.

Comisión Europea (2008c). Especificación técnica de interoperabilidad del subsistema de energía del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad. Diario Oficial de la Unión Europea, L 104/1.

Coplen, M., & Sussman, D. (2000). Fatigue and alertness in the United States railroad industry part II: fatigue research in the Office of Research and Development at the Federal Railroad Administration. *Transportation Research Part F Traffic Psychology and Behaviour*, 3(4), 221-228.

Coren, S., & Ward, L.M. (1989). *Sensation and perception* (3rd Ed.). San Diego: Harcourt Brace Jovanovich.

Cotterill, R., & Jones, H., (2005). The HSE revised fatigue index in the rail industry: from application to understanding. En: Wilson, J.R., Norris, B.J., Clarke, T., Mills, A. (Eds.), *Rail Human Factors: Supporting the Integrated Railway*. London: Ashgate Publishing, pp. 215–223.

Cox, G., Farrington-darby, T., & Bye, R. (2007). From the horse's mouth: the contribution of subject matter experts (SMEs) to study of rail work systems. En: Wilson J. et al. (eds). *People and Rail Systems: Human Factors at the Heart of the Railway*, London: Ashgate Publishing Ltd., pp. 267-274.

Dalmau, I., & Nogareda, S. (1997). Métodos de evaluación de las condiciones de trabajo. Métodos generales. *Notas técnicas de prevención*. Madrid: INSHT, NTP 451 Madrid: INSHT.

Dawson, D. & Fletcher, A. (2001). A quantitative model of work-related fatigue: background and definition. *Ergonomics*, 44(2), pp. 144-163.

De Waard, D. (1996). *The measurement of driver's mental workload*. Thesis Doctoral. Haren: University of Groningen. Traffic Research Centre.

Derrick, W.L. (1988). Dimensions of operator workload. *Human Factors*, 30(1), 95-110.

Dewar, R.E., & Olsen, P. (2002). *Human Factors in Traffic Safety*. Lenexa: Criterion Press.

Díaz, M, Ponsa, P., & Dalmau, I. (2001). Performance Analysis on a Process Control Micro-World: An Approach to Mental Workload Assessment. *Proceedings of the European Academy of Occupational Health Psychology*. Barcelona: EA-OHP.

Dickinson, S., & Lowe, E. (2007). Supervision in Signal Boxes. En: Wilson J. et al. (eds). *People and Rail Systems: Human Factors at the Heart of the Railway*, London: Ashgate Publishing Ltd., pp. 225-235.

Directive 2001/16/EC (2001) of the European Parliament and the Council on the interoperability of the trans-European conventional rail system. Commission of The European Communities, Brussels, 19 March 2001.

Dufresne, R. (2001): Rail traffic control system automation. What are the effects on RTC'S activity? Ergonomics for Changing Work. *Proceedings of the Joint SELF-ACE Conference*, Montreal, Quebec, 3–5 October 2001.

Dul, J., & Weerdmeester, B. (2001). *Ergonomics for beginners*. London: Taylor & Francis.

Dumas, J.S., & Redish, J.C. (1999). *A Practical Guide to Usability Testing. Revised Edition. Wiltshire, UK: Cromwell Press.*

Eggemeier, F.T., & Wilson, G.F. (1991). Performance-based and subjective assessment of workload in multi-task environments. En D.L. Damos (Ed.): *Multiple-Task Performance*. London: Taylor and Francis, pp.217-278.

Eggemeier, F.T., Wilson, G.F., Kramer, A.F., & Damos, D.L. (1991). Workload assessment in multi-task environments. En D.L. Damos (Ed.): *Multiple-Task Performance*. London: Taylor and Francis, pp. 207-216.

Elliot, A.C., Garner, S.D. & Grimes, E. (2007). The cognitive tasks of the driver: the approach and passage through diverging junctions. En Wilson J. et al. (Eds.): *People and Rail Systems: Human Factors at the Heart of the Railway*, London: Ashgate Publishing Ltd., pp. 115-123.

Endo, J., & Kogi, K. (1975). Monotony effects of enginemen during high speed train operations. *Journal of Human Ergology*, 4, 129-140.

Endsley, M.R., & Garland, D.J. (2000). *Situation Awareness Analysis and Measurement*. New York: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Evans, A.W. (1997). A statistical analysis of fatal collisions and derailments of passenger trains on British Railways: 1967-1996. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 211, pp. 73-86

Evans, A.W. (2000). Fatal train accidents on Britain's main line railways. *Journal of the Royal Statistical Series A: Statistics in Society*, 163(1), pp. 99-119.

Evans, A.W. (2002). Are train accident risks increasing?. *Modern Railways*, 59, pp.49-51.

Evans, A.W. (2011). Fatal train accidents on Europe's railways: 1980–2009. *Accident Analysis and Prevention* 43(1),pp. 391–401.

Farrington-Darby, T., Pickup, L. & Wilson, J.R. (2005). Safety culture in railway maintenance. *Safety Science*, 43(1), pp. 39–60.

Farrington-Darby, T., Wilson, J.R.,& Norris, B.J. (2005). Investigating train driver behavior. The use of lineside information when regulating speed. En: Wilson, J.R., Norris, B.J., Clarke, T.,& Mills, A. (Eds.), *Rail Human Factors: Supporting the Integrated Railway*. London: Ashgate, pp. 60–69.

Ferrer, R., & Dalmau, I. (1999). PSVAR Questionnaire: A method for assessing psychosocial variables at workplaces. *Proceedings of the International Conference on Computer Aided Ergonomics and Safety*. Barcelona: CAES.

Ferrer, R., & Dalmau, I. (2000a). Evaluación del confort personal en el puesto de trabajo. *Protección Laboral*, n° 25 4º trimestre. Madrid.

Ferrer, R., & Dalmau, I. (2000b). Métodos de evaluación. Ergonomía, Psicología y valoración del confort en el puesto de trabajo. *Proceedings of the International Conference on Occupational Risk Prevention*. Tenerife: ORP.

Ferrer, R., & Dalmau, I. (2004). Revisión del concepto de carga mental: evaluación, consecuencias y proceso de normalización. *Anuario de Psicología*, 35(4), pp. 521-546.

Ferrer, R., Dalmau, I., Murcia, J. M., & Mondelo, P. (2002). Psychosocial evaluation: indicators to be considered in workplaces from the administrative and finance sectors. *Proceedings of the international conference on Occupational Risk Prevention*. Gran Canaria: ORP.

FIOH (1989). *Ergonomic Workplace Analysis. Ergonomic Section Finish*. Finland: Institute of Occupational Health.

Fisk, A.D., & Gallini, J.K. (1989): Training consistent components of tasks: developing an instructional system based on automatic /controlled processing principles, *Human Factors*, 31(4), pp. 453-463.

Fitch, W. T., & Kramer, G. (1994). Auditory Display, chapter Sonifying the Body Electric: Superiority of an Auditory Display over a Visual Display in a Complex, Multivariate System. *Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity*, Proc. Vol. XVIII, pp. 307–327. Reading, MA: Addison-Wesley.

Fletcher, A., & Dawson, D. (1998). A work-related fatigue model based on hours of work. En L. Hartley (Ed.), *Managing fatigue in transportation*. Oxford: Elsevier Science, pp. 189-208.

Fletcher, A., & Dawson, D. (2001). Field-based validations of a work-related fatigue model based on hours of work. *Transportation Research Part F. Traffic Psychology and Behavior*, 4(1), 75-88.

Foulkes, J., Colford, N., & Boughton, J. (2004). Early human factors assessment of a new European Standard for train driver signaling information. En: McCabe, P.T. (Ed.), *Contemporary Ergonomics*. Boca Raton, Florida: CRC Press.

Fraser, T. M. (1989). *The Worker at Work: a textbook concerned with men and women in the workplace*. New York: Taylor & Francis.

Gaver, W.W. (1993). How Do We Hear in the World? Explorations in Ecological Acoustics. *Ecological Psychology*, 5(4), pp. 285–313.

Geddie, J.C., Boer, L.C., Edwards, R.J., Enderwick, T. P., & Graff, N. (2001). *NATO Guidelines on human engineering. Testing and evaluation (Projecto No RTO-TR-021)*. Neuilly Sur Seine, France: RTO / NATO.

General Accounting Office (1997). Rail transportation. Federal Railroad Administration's new approach to railroad safety (Publication No GAO/RCED-97-142). Gaithersburg, MD: US General Accounting Office.

Georgiev, M.N.; Mezhova, N.Y.; Morozov, E.M., & Reikhart, V.A. (2000). A mechanism of development of contact fatigue cracks in railroad rails. *Industrial Laboratory*, 66(9), pp. 617-619.

Gerbino, W., & Strano, F. (2002). Testing the interface of a cab signaling system. En De Waard, D., Brookhuis, K.A., Moraal, J. & Toffetti, A. (Eds.), *Human Factors in Transportation, Communication, Health, and the Workplace*. Shaker Publishing, Maastricht, The Netherlands, pp. 255-264.

Gillberg, M., & Akerstedt, T. (1998). Sleep loss and performance: no "safe" duration of a monotonous task. *Physiology and Behavior*, 64(5), pp. 599-604.

Gillis, I. (2007). Cognitive workload of train drivers. En: Wilson J. et al. (Eds). *People and Rail Systems: Human Factors at the Heart of the Railway*, London: Ashgate Publishing Ltd., pp. 93-101.

Goldberg, A. I., Dar-EI, E. M., & Rubin, A. E. (1991). "Threat perception and the readiness to participate in safety programs", *Journal of Organizational Behavior*, 12(2), 109-122.

González, D. (2003). *Ergonomía y Psicosociología*. Madrid: FC Editorial.

González, J. L., MORENO, B., & Garrosa, E. (2005). *Carga mental y fatiga laboral: Teoría y evaluación*. Madrid: Pirámide.

Gouin, V., Sagot, J.C., & Roussel, B. (2001). Train drivers' fatigue during a seven hour daytime trip. En Harris, D. (Ed.), *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, Vol. 5: Aerospace and Transportation Systems*. Aldershot, Hampshire: Ashgate Publishing, pp. 455–462.

Grabarek, I. (2002). Ergonomic diagnosis of the driver's workplace in an electric locomotive. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 8 (2), pp. 225–242.

Green, W.S., & Jordan, P.J. (1995). *Human factors in product design*. London: Taylor & Francis.

Hacker, W. (1998). Carga mental de trabajo. En Stellman, J.M. (Ed.), *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 29, pp. 44-46.

Hale, A.R., Heijer, T., Koornneef, F., (2003). Management of safety roles: the case of railways. En: *Proceedings of the Third International Symposium on Safety & Hygiene, Porto, Portugal, March 2003*.

Hall, S. (1999): Hidden dangers. Railway safety in the era of privatisation. Shepperton, Surrey: Ian Allan Publishing.

Hall, S. (2003). Beyond Hidden Dangers: Railway Safety into the 21st Century. Hershham , Surrey: Ian Allan Publishing.

Hamilton, D.B., & Bierbaum, C.R. (1990). Task Analysis/Workload (TAWL): A methodology for predicting operator workload. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 34(16), pp. 1117-1121. Santa Mónica, C.A: Human factors society.

Hamilton, D.B., Bierbaum, C.R., & Fulford, L.A. (1990). *Task Analysis/Workload (TAWL) user's guide – versión 4.0. (Report nº ASI690-330-90-B)*. Fort Rucker, AL: Anacapa Sciences, Inc.

Hamilton, I., & Clarke, T. (2005). Driver performance modeling and its practical application to railway safety. *Applied Ergonomics*, 36, 661-670. Reproducido en: Wilson, J.R., Norris, B.J., Clarke, T., Mills, A. (Eds.), *Rail Human Factors: Supporting the Integrated Railway*. London: Ashgate Publishing, pp. 25–39.

Hamilton, W.I. & Boughton, J.S. (2004). *Development of a theoretically coherent workload prediction technique*. Prague: Proceedings of the Loss Prevention Conference.

Hamilton, W.I., & Colford, N. (2002). An approach to addressing line side ergonomics for the train driver. Technical Report No. HEL/RT/ 02690/RT1. Human Engineering Limited for Railtrack plc.

Hamilton, W.I., & Colford, N. (2003). Developing a baseline operational specification of driver requirements for UK ERTMS. En *Ergonomics in the Digital Age*. Proceedings of the XVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association and the 7th Joint Conference of the Ergonomics Society of Korea and the Japan Ergonomics Society, Seoul, Korea, August 24-29, 2003.

Hancock, P.A., & Warm, J.S. (1989). A dynamic model of stress and sustained attention. *Human Factors*, 31(5), pp.519-537.

Hayward, C. (1994). Listening to the Earth Sing. En G. Kramer (Ed.) (1994). *Auditory Display: Sonification, Audification and Auditory Interfaces*, Proceedings of the First International Conference on Auditory Display. Reading, MA: Addison-Wesley, pp. 369–404.

Health and Safety Commission (2001). *Rail Safety: proposals for regulations on train protection systems and Mark 1 Rolling Stock*. Sudbury: HSE Books.

Health and Safety Executive (2001). *The Joint Inquiry into Train Protection Systems (The Uff—Cullen Report)*. Norwich, UK: HSE Books, HMSO.

Helander, M. (2006). *A Guide To Human Factors And Ergonomics*. London: CRC Taylor & Francis.

Hendy, K.C.; Hamilton, K.M., & Landry, L.N. (1993). Measuring subjective workload: When is one scale better than many? *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics*, 35(4), pp. 579-601.

Heras, C. (1996). *Factores ergonómicos ambientales del trabajo en interiores*. Zaragoza: Diputación General de Aragón.

Hicks, TH.G. & Wierwille, W.W. (1979). Comparison of five mental workload assessment procedures in a moving-base driving simulator. *Human Factors The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 21(2), 129–143.

Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). REBA: Rapid Entire Body Assessment. *Applied Ergonomics*, 31(2), pp. 201-205.

Hilderbrandt, G., Rohmert, W., & Rutenfrantz, J. (1975). 12 and 24 hour rhythms in error frequency of locomotive drivers and the influence of tiredness. *International Journal of Chronobiology*, 2, pp. 175-180.

Hill, C., Blanchard, H., & Carey, M. (2007). Informing Signage Positioning Rules Through a Human Factors Assessment of Signal/Sign Co-location. En: Wilson J. et al. (Eds). *People and Rail Systems: Human Factors at the Heart of the Railway*, London: Ashgate Publishing Ltd., pp. 203-212.

Ho, C., & Spence, CH. (2008). The multisensory driver. Implications for ergonomic car interface design. Human factors in road and rail transport. Aldershot, Hampshire: Ashgate.

Hollnagel, E. (1998). Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM). London: Elsevier Science Ltd.

Holywell, P. (2005). ORAM: a structured method for integrating human factors into SPAD risk assessment. En: Wilson, J.R., Norris, B.J., Clarke, T., Mills, A. (Eds.), *Rail Human Factors: Supporting the Integrated Railway*. London: Ashgate Publishing, pp. 189–200.

ISO 10075 (1991). Ergonomic principles related to mental work-load - General terms and definitions. Geneva: ISO.

ISO 10075-2 (1996). Ergonomic principles related to mental work-load- Part 2: Design principles. Geneva: ISO.

ISO 226 (2003). Acoustics-Normal equal loudness contours. Geneva: ISO.

ISO 10075-3 (2004). Ergonomic principles related to mental work-load- Part 3: Principles and requirements concerning methods for measuring and assessing mental workload. Geneva: ISO.

ISTAS (2004). *Método ISTAS21 (CoPsoQ) de evaluación de riesgos psicosociales*. Barcelona: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud.

Jansson, A., Olsson, E., & Kecklund, L. (2005). Acting or reacting? A cognitive work analysis approach to the train driver task. En Wilson, J.R., Norris, B.J., Clarke, T., & Mills, A. (Eds.), *Rail Human Factors: Supporting the Integrated Railway*. London: Ashgate Publishing, pp. 40–49.

Jex, H. R. (1988). Measuring mental workload: Problems, progress and promises. En P.A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human mental workload*. Amsterdam: Elsevier, pp. 5-39.

Johnsen, S.O., Herrera, I.A., Vatn, J. & Rosness, R. (2005). Cross border railway operations: building safety at cultural interfaces. En Wilson, J.R., Norris, B.J., Clarke, T. & Mills, A. (Eds.), *Rail Human Factors: Supporting the Integrated Railway*. London: Ashgate Publishing, pp. 393–406.

Jorna, R., Van Wezel, W., Kiewiet, D.J., & De Boer, T. (2005). Analysis and support of planning in the Dutch Railroad Company. En Wilson, J.R., Norris, B.J., Clarke, T. & Mills, A. (Eds.), *Rail Human Factors: Supporting the Integrated Railway*. London: Ashgate Publishing, pp. 285–295.

Jouvencel, M.R. (1994). *Ergonomía básica aplicada a la Medicina del Trabajo*, Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

Kanawaty, G. (1996). *Introducción al estudio del trabajo*. Cuarta Edición. Ginebra: Organización Internacional del trabajo, OIT.

Kanis, H. (2011). Estimating the number of usability problems. *Applied Ergonomics*, 42(2), pp. 337–347.

Karlehagen, S., Malt, U. F., Hoft, H., Tibell, E., Herrtromer, U., Hildingson, K., & Leymann, H. (1993). The effect of major railway accidents on the psychological health of train drivers II. A longitudinal study of the one year outcome after the accident. *Journal Psychosomatic Research*, 37(8), pp. 807-817.

Kecklund, L. (2002). The TRAIN-Project: a human factors perspective on risks in the train driver system and suggestions for safety enhancing measures. En Caldenfors, D., Eklund, J. & Kiviloog, L. (Eds.), *Humans in a Complex Environment: Proceedings of the 34th Congress of the Nordic Ergonomics Society*, Kolmarden, Sweden, 1–3 October. Division of Industrial Ergonomics, Linköping University, Linköping, Sweden, vol. II, pp. 455–460.

Kecklund, L., Olsson, E., Jansson, A., Kecklund, G., & Ingre, M. (2003). The TRAIN-Project: Effects of Organizational Factors, Automatic Train Control, Work Hours and Environment: Suggestions for Safety Enhancing Measures. In Proceedings of the 47th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society, Denver, Colorado, 13-17 October. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society, pp. 1835–1839.

Kenneth, R.B., Kaufman, L.I., & Thomas, J. (Eds.). (1986). Handbook of perception and human performance. Volume II Cognitive processes and performance. New York: John Wiley and Sons.

Kilmer, K.J.; Knapp, R.; Bursal, C.; Borrensen, R.; Bateman, R., & Malzahn, D. (1988). Techniques of subjective assessment: A comparison of the SWAT and the modified Cooper-Harper scales. *Proceedings of the human factors society 32nd annual meeting*, pp. 155-159. Santa Mónica, C.A: Human Factors Society.

Kinnersley, S., & Roelen, A. (2007). The contribution of design to accidents. *Safety Science*, 45(1-2), 31-60.

Kirakowski, J. (1996). The software usability inventory background and usage. En Jordan, P.W., Thomas, B., Weerdmeester, B.A & McLelland, I.L. (Eds.), *Usability Evaluation in Industry*. London: Taylor & Francis, pp.169–177.

Kirwan, B. (1994). *A Guide to Practical Human Reliability Assessment*. London: Taylor & Francis.

Kirwan, B. (2000). Soft systems, hard lessons. *Applied Ergonomics*, 31(6), pp. 663–678.

Knight, J.L., & Salvkndy, G. (1981). Effects of task feedback and stringency of external pacing on mental load and work performance. *Ergonomics*, 24(10), pp. 757-764.

Konz, S. (1991). *Diseño de instalaciones industriales*. México: Ed. Limusa, Noriega Editores.

Kramer, G. (1994a): *Auditory Display*, Some organizing principles for representing data with sound, Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Proc. Vol. XVIII, pp. 185–221, Reading, MA: Addison-Wesley.

Kramer, G. (1994b): *Auditory Display*, Sonification, Audification and Auditory Interfaces, Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Proc. Vol. XVIII. Reading, MA: Addison-Wesley.

Kristensen, T.S. (2001): A new tool for assessing psychosocial factors at work: The Copenhagen Psychosocial Questionnaire. En Weikert, C. Torkelson, E. & Pryce, J. (Eds.): *European Academy of Occupational Health Psychology Conference Proceedings Series*.

Krokos, K.J. & Baker, D.P. (2007). Preface to the special section on classifying and understanding human error. *Human Factors* 49(2), 175–177.

Lal, S.K., & Craig, A. (2001). A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biological Psychology*, 55(3), 173-194.

Lee, J. & Moray, N. (1992). Trust, control strategies and allocation of function in human-machine systems. *Ergonomics*, 35(10), pp. 1243–1270.

Lenior, T. M. (1993). Analyses of cognitive processes in train traffic control. *Ergonomics*, 36(11), pp. 1361-1368.

Liao, J., & Moray, N. (1993): A simulation study of human performance deterioration and mental workload. *Le travail humain*, 56(4), pp.321-344.

Lillo Jover, J. (1999). *Estudio descriptivo de enfermedades profesionales músculo-esqueléticas*. Instituto Regional de Seguridad y Salud en el Trabajo. Comunidad de Madrid.

Lillo Jover, J. (2000). *Ergonomía. Evaluación y diseño del entorno visual*. Madrid: Alianza Editorial.

Lin, D.Y., & Hwang, S.L. (1998). The development of mental workload measurement in flexible manufacturing systems. *Human Factors and Ergonomics*, 8(1), pp. 41-62.

Lindsay, P.H., & Norman, D.A. (1977). *Human Information Processing (Introducción a la Psicología cognitiva)*. Madrid: Tecnos, 1983). New York: Academic Press.

Lowe, T., & Turner, C. (2003). *A human factors SPAD checklist*. Proceedings of the HF Rail Conference, York.

Lowe, E., & Turner, C. (2005). A human factors SPAD checklist. En Wilson, J.R., Norris, B.J., Clarke, T. & Mills, A. (Eds.), *Rail Human Factors: Supporting the Integrated Railway*. London: Ashgate Publishing, pp. 182–188.

Mack, Z., Broadbent, S., Miller, M., & Bell, J. (2004). Train cab ergonomics—from a driver's perspective. En: McCabe, P.T. (Ed.), Florida, Boca Raton: *Contemporary Ergonomics*, pp. 281–285.

Mackie, R. R. (1987). Vigilance research, are we ready for countermeasures?. *Human Factors*, 29(6), pp.707-723.

Malt, U. F., Karlehagen, S., Hoff, H.; Herrtromer, U.; Hildingson, K., Tibell, E. & Leymann, H. (1993). The effect of major railway accidents on the psychological health of train drivers I. Acute psychological responses to accident. *Journal Psychosomatic Research*, 37(8), pp. 793-805.

McCormick, E. J.(1979). *Job analysis: Methods and applications*. New York: AMACOM.

McCormick, E. J., Jeanneret, P. R., Mecham, R. C. (1972). A study of job characteristics and job dimensions as based on the Position Analysis Questionnaire (PAQ). *Journal of Applied Psychology*, 56(4), pp. 347-368.

MCDonald, W.A. & Hoffman E.R. (1991). Drivers' awareness of traffic sign information. *Ergonomics* 34(5), 585–612.

Meeker, F., Fox, D., & Weber, C. (1997). A comparison of driver behavior at railroad grade crossings with two different protection systems. *Accident Analysis and Prevention*, 29(1), pp. 11-16.

Mondelo, P.R., Gregori, E., Comas, S., & Castejon, E. (1994). *Ergonomía. Fundamentos*. Barcelona: Ediciones UPC.

Mondelo, P., & Gregori, E., (1996). *La Ergonomía en la Ingeniería de Sistemas*. Barcelona: Isdefe.

Mondelo P., Gregori, E., & Barrau, P. (1998). *Ergonomía 1: Fundamentos*. Barcelona: Ediciones UPC.

Mondelo P., Gregori, E., Barrau, P. & Blasco, J. (2000). *Ergonomía 3. Diseños de Puestos de Trabajo*. Barcelona: Ediciones UPC.

Mustonen, M. (2008). A review-based conceptual analysis of auditory signs and their design. *Proceedings of the 14th International Conference on Auditory Display, Paris, France*.

Navon, D., & Gopher, D. (1979). On the economy of the human-processing system. *Psychological Review*, 86(3), 214-255.

Neerincx, M.A, & Griffin, E. (1996). Cognitive task analysis: harmonizing tasks to human capacities. *Ergonomics*, 39(4), 543-561.

Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. Boston: Academic Press.

Nilsson, J. &, Siponen, J. (2005). Challenging the HCI concept of fidelity by positioning Ozlab prototypes. In: *Proceedings of the Fourteenth International Conference on Information Systems Development*, pp. 349–360.

Nogareda, S. (2003). *Evaluación de las condiciones de trabajo: Carga postural. Método REBA (Rapid Entire Body Assessment)*. Notas Técnicas de Prevención. Madrid: INSHT, NTP 601.

Norman, D.A. (1968). Towards a theory of memory and attention. *Psychological Review*, 75(6), pp. 522-536.

Norman, D.A., & Bobrow, D.J. (1975). On data limited and resources limited processes. *Cognitive psychology*, 7(1), pp. 44-64.

Olsson, E., & Jansson, A. (2005). Participatory design with train drivers - a process analysis. *Interacting with Computers* 17(2), pp. 147–166.

Palshikar, G.K. (2001). Safety checking in an automatic train operation system. *Information and Software Technology*, 43(5), 325-338.

Panero, J., & Zelnik, M. (1983). *Las dimensiones humanas en los espacios interiores*. Barcelona: Gustavo Gili,S.L.

Parasuraman, R. & Riley, V. (1997). Humans and automation: use, misuse, disuse, abuse. Human Factors, 39 (2), 230–253.

Pheasant, S. (1996). *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of the Work (2nd Edition)*. New York: Taylor & Francis.

Rahimi, M. & Meshkati, M. (2001). Human factors in highway-rail crossing accidents: the influence of driver decision style. En McGehee, D.V., Lee, J.D., Rizzo, M., Holeton, K. & Lopes, T. (Eds.), *Proceedings of the International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*. Aspen, Colorado, pp. 332–337.

Railtrack (2000). Yellow Book 3 – Engineering safety management. Human Error: causes and consequences and mitigations. Railway Safety on behalf of the UK rail industry.

REAL DECRETO 488/1997. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización. BOE 23 de abril de 1997.

Reason, J. (1990). Human Error. Cambridge: Cambridge University Press.

Recoder, M. (2010). Análisis de rentabilidad del mercado de mercancías de ancho variable (Proyecto fin de carrera. Universidad Pontificia de Comillas. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, ICAI).

Reinach, S. & Viale, A., (2006a). Application of human error framework to conduct train accident/incident investigations. *Accident Analysis and Prevention* 38(2), 396–406.

Reinach, S. & Viale, A., (2006b). Human factors root cause analysis of accidents/incidents involving remote control locomotive operations (Report No. DOT/FRA/ORD- 06/05), U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration.

Reinach, S., Viale, A., & Green, D. (2007). Human Error Investigation Software Tool (HEIST) (No. DOT/FRA/ORD-07/15), U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration.

Roach, G.D., Dorrian, J., Fletcher, & Dawson, D. (2001). Comparing the effects of fatigue and alcohol consumption on locomotive engineers' performance in a rail simulator. *Journal of Human Ergology* 30(1–2), pp. 125–130.

Rogers, A.B., Spencer, M.B., & Stone, B.M. (1999). Validation and development of a method for assessing the risks arising from mental fatigue. Contract Research Report 254/1999, London: HSEBooks.

RSSB - (2005). *How Safe is Safe Enough?. London: Report of the Rail Safety and Standards Board.*

RSSB (2005). Rail-specific human reliability assessment technique for driving tasks. London: Report of the Rail Safety and Standards Board.

Russolo L. (1986). *The Art of Noises*. New York: Pendragon Press.

Ryan, B., Wilson, J.R., Sharples, S., & Clarke, T. (2009). Attitudes and opinions of railway signallers and related staff using the Rail Ergonomics Questionnaire (REQUEST). *Applied Ergonomics*, 40(2), pp. 230-238.

Ryan, B., Wilson, J.R., Sharples, S., Morrisroe, G., & Clarke, T. (2009). Developing a Rail Ergonomics Questionnaire (REQUEST), *Applied Ergonomics*, 40(2), pp. 216-229.

Saad, F. (2006). *Some critical issues when studying behavioural adaptations to new driver support systems*. *Cognition Technology & Work*, 8(3), pp. 175–181.

Sagot, J.C., Gouin, V., & Gomes, S. (2003). Ergonomics in product design: safety factor. *Safety Science*, 41(2-3), 137-154.

Salvendy, G. (Ed.) (2001). Handbook of industrial engineering. Technology and operations management (3rd ed.) New York: John Wiley and Sons.

Salvendy, G. (2006). *Handbook of human factors and Ergonomics (3rd ed.)*. New York: John Wiley and Sons.

Santiago, J., Tornay, F., & Gómez, E. (1999). *Procesos psicológicos básicos*. Madrid: McGraw-Hill.

Sauer, J., Seibel, K., & Rüttinger, B. (2010). The influence of user expertise and prototype fidelity in usability tests. *Applied Ergonomics*, 41(1), pp. 130-140.

Scerbo, M. W., Freeman, F. G., Mikulka, P. J., Schoenfeld, V., Eischeid, T., Krahl, T., Stark, J., & Parasuraman, R. (1999). Hazardous states of awareness: what are they and how do we measure them? *Proceedings of the 10th Annual Symposium on Aviation Psychology*. Columbus, Ohio: Ohio State University Department of Aviation Psychology.

Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: Detection, search and attention. *Psychological Review*, 84, 1-66.

Schneider, W., & Fisk, A.D. (1983). Attention theory and mechanisms of skilled performance. *Advances in Psychology*, 12, pp. 119–143.

Sebastián, O., & Del Hoyo, M.A. (2002). *La carga mental de trabajo. Documentos divulgativos*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Shappell, S.A., & Wiegmann, D.A. (2000). The Human Factors Analysis and Classification System–HFACS (Report N° DOT/FAA/AM-00/7). FAA Civil Aeromedical Institute. Oklahoma City.

Shorrock, S.T., & Kirwan, B., (1999). The development of TRACER: a technique for the retrospective analysis of cognitive errors in ATM. In: Harris, D. (Ed.), *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*, vol. 3. Berlin: Springer.

Slamen, A., & Coleman, N. (2005). The application of ergonomics to standards development for VDU based signalling control systems. En: Wilson, J.R., Norris, B.J., Clarke, T. & Mills, A. (Eds.), *Rail Human Factors: Supporting the Integrated Railway*. London: Ashgate Publishing, pp. 239–250.

Slamen, A., Schock, A., Ryan, B., & Wilson, J.R. (2004). *Human Factors Analysis of the Work of the Engineering Supervisor*. Restricted Report of Network Rail, London.

Stanton, N. A., & Walker, G. H. (2011). Exploring the psychological factors involved in the Ladbroke Grove rail accident. *Accident analysis and prevention*, 43(3), 1117-1127.

Steinicke, W.H. & Meissner, T. (2003). The Project European Driver's Desk (EUDD), A Multidisciplinary Approach towards the Future Modular Train, Ergonomics in the Digital Age. *Proceedings of the XVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association and the 7th Joint Conference of the Ergonomics Society of Korea and the Japan Ergonomics Society, Seoul, Korea, August, 3, pp. 24-29.* Ergonomics Society of Korea, Seoul, Korea.

Stevenson, M.G., Coleman, N., Long, A.F., & Williamson, A.M. (2000). Assessment, re-design and evaluation of changes to the driver's cab in a suburban electric train. *Applied Ergonomics*, 31(5), pp. 499-506.

Tamarit, J. (1998). Validación funcional de componentes embarcados de Eurocabina en la línea Madrid-Sevilla (EMSET). Actas del X congreso panamericano de Ingeniería de tránsito y transporte. Madrid: Ministerio de Fomento. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

Tayyari, P.E., & Fariborz, F. (1997). *Occupational ergonomics. Principles and applications.* Amsterdam: Kluwer Academic Publishers.

Toledo-Catillo, F.J.; Castro, C., & Lloret-Catalá M.C. (2006). Safety Visual Display in Cabs of Railway Machines: *Visual ergonomics requirements. Vision in Vehicles 11.* Loughborough University. Trinity College: Dublin: Ireland.

Toledo-Castillo, F.J.; Lloret-Catalá M.C.; Figueres-Esteban, M., & Sospedra-Baeza, M.J.(2006). E.R.G.O.A.S.F.A.- Mejora del Sistema de frenado automático a bordo del tren mediante el desarrollo de un prototipo ergonómico que mejore las funcionalidades actuales. *VII Congreso de Ingeniería del transporte.* 16 de junio de 2006. Ciudad Real: España.

Toledo-Castillo, F.J (2007). Seguridad y conducción de trenes: El factor humano. *The 5th International Rail Forum. Valencia: España.*

Toledo-Castillo, F.J.; Lloret-Catalá M.C.; Figueres-Esteban, M., & Sospedra-Baeza, M.J.(2008). Revisión de las técnicas de valoración y gestión de riesgo aplicadas al ferrocarril europeo. *VIII Congreso Internacional de Ingeniería del Transporte. A Coruña, España.*

Toledo-Castillo, F.J.; Sospedra-Baeza, M.J.; Figueres-Esteban, M., & Lloret-Catalá M.C. (2008). *Atención, fatiga y sueño en la conducción de trenes y tranvías.* Valencia: Palmero Ediciones.

Toledo-Castillo, F.J.; Sospedra-Baeza, M.J.; Figueres-Esteban, M.; Lloret-Catalá M.C., & Hidalgo-Fuentes, S. (2009). *Perfil Profesiográfico de las tareas de Circulación y de la Conducción sin viajeros de F.G.V* (Informe Científico Técnico). Universidad de Valencia.

Toledo-Castillo, F.J (2010). Nivel de riesgo aceptado en el funcionamiento del ferrocarril en España para los diferentes. *III Jornadas sobre presentación de proyectos de I+D de transportes del plan nacional 2004/2007 ligados al PEIT.* Madrid: España.

Toledo-Castillo, F.J.; Sospedra-Baeza, M.J.; Figueres-Esteban, M., & Lloret-Catalá M.C. (2010). Aplicación de la 2009/460/CE para la evaluación de los objetivos comunes de seguridad en el sistema ferroviario español. *I Congreso Internacional de Tecnología Ferroviaria.* Zaragoza: España.

Toledo-Castillo, F.J (2011). Indicadores de los valores de referencia (IVR) obtenidos en el estudio DETRA para el Sistema Ferroviario Español. *The 8th International Rail Forum.* Madrid: España.

Traverso, C. (2000). Railways agree ERTMS specifications. *International Railway Journal.* May, 29–32.

Turro, M. (2004). RAILPAG: Railway Project Appraisal Guidelines". European Commission. EU Publications.

UNE 74-002-78 (1978). Frecuencias preferentes para las medidas acústicas. AENOR.

UNE-EN 894-1 (1997). Seguridad de las máquinas. Requisitos ergonómicos para el diseño de dispositivos de información y mandos. Parte 1: principios generales de la interacción entre el hombre y los dispositivos de información y mandos. Madrid: AENOR (Actualización de 2009).

Vaughan, A. (2000). *Tracks to disaster*. Shepperton, Surrey: Ian Allen.

Virzi, R.A., Sokolov, J.L. & Karis, D. (1996). Usability problem identification using both low- and high-fidelity prototypes. In: *Conference Proceedings on Human Factors in Computing Systems: CHI 96*, pp. 236–243.

Warm, J.S. (1984). *Sustained Attention in Human Performance*. New York: John Wiley & Sons.

Watson, M.O. & Sanderson, P. (2007). Designing for attention with sound: challenges and extensions to ecological interface design. *Human Factors*, 49 (2), pp. 331–346.

Wickelgren, W.A. (1979): *Cognitive psychology*. New Jersey: Prentice Hall.

Wickens, C.D. (1980). The structure of processing resources. En Nickenson, R., & Pew, R. (Eds.), *Attention and performance VIII*. New Jersey: Erlbaum.

Wickens, C.D. (1987). Information processing, decision making and cognition. En Salvendy, G. (Ed.), *Cognitive engineering in the design of human-computer interaction and expert systems*. Amsterdam: Elsevier.

Wickens, C.D. (1991). Processing resources and attention. En D.L. Damos (Ed.), *Multiple-Task Performance*. London: Taylor and Francis, pp. 279-328.

Wickens, C.D., & Carswell, C.M. (1997). Information processing. En G. Salvendy (ed.) *Handbook of human factors and ergonomics*. New York: Wiley and Sons.

Wickens, C.D., & Hollands, J.G., (2000). *Engineering psychology and human performance*. New York: Prentice Hall.

Wickens, C. D., & Liu, Y. (1988). Codes and modalities in multiple resources: A success and a qualification. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 30(5), 599-616.

Wickens, C.D., Gordon, S.E., & Liu, Y. (1998). *An introduction to human factors engineering*. New York: Longman.

Wiegmann, D.A., & Shappell, S.A. (2001). A Human Error Analysis of Commercial Aviation Accidents Using the Human Factors Analysis and Classification (HFACS). (Report N° DOT/FAA/AM-01/3). FAA Civil Aeromedical Institute. Oklahoma City.

Wiegmann, D.A., & Shappell, S.A. (2003). A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis: The Human Factors Analysis and Classification System Bodmin. Cornwall: Ashgate Publishing Limited.

Williams, K.E. (2000). An automated aid for modelling human-computer interaction. En Chipman, Shalin & Schraagen, Eds. *Cognitive Task Analysis*. New Jersey: Lawrence Erlbaum, pp. 165-180.

Wilson, J. R., & Corlett, E. N. (1995). *Evaluation of Human Work. A practical ergonomics methodology*. London: Taylor & Francis.

Wissner, A. (1988). *Ergonomía y Condiciones de Trabajo*. Buenos Aires: Humanitas.

Wood, J. (2005). Ergonomics standards in the UK rail industry. En Wilson, J.R., Norris, B.J., Clarke, T. & Mills, A. (Eds.), *Rail Human Factors: Supporting the Integrated Railway*. London: Ashgate Publishing, pp. 515-524.

Wright, L., & Van Der Schaaf, T. (2005). Near miss versus accident causation in the UK railway industry. En Wilson, J.R., Norris, B.J., Clarke, T. & Mills, A. (Eds.), *Rail Human Factors: Supporting the Integrated Railway*. London: Ashgate Publishing, pp. 429-437.

Xie, B., & Salvendy, G. (2000). Prediction of mental workload in single and multiple tasks environments. *International journal of cognitive ergonomics*, 4(3), pp. 213-242.

Zeitlin, L.R., (1995). Estimates of driver mental workload: a long-term field trial of two subsidiary tasks. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics*, 37(3), pp. 611-621.

6. ANEXO

6.1. ANEXO I: CUESTIONARIO ASFA Digital

EDAD: _____ AÑOS DE CONDUCCIÓN: _____

U.N. a la que pertenece: _____

¿Qué vehículo ferroviario conduce Usted habitualmente? _____

¿Cuántos años aproximadamente hace que conduce utilizando el ASFA DIGITAL?:
_____ años.

1- Valore la eficacia que el sistema ASFA DIGITAL ha tenido en la mejora de la seguridad en la circulación:

Poca eficacia 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Mucha eficacia

Pulsadores del pupitre de conducción

1- ¿Considera que los cambios introducidos en los pulsadores del ASFA DIGITAL del pupitre de conducción han contribuido a mejorar la seguridad en la conducción?

Si No

2- Valore, en una escala de 1 a 10 siendo 1 poca y 10 mucha, la contribución que considera que cada uno de los pulsadores del pupitre de conducción del ASFA DIGITAL ha aportado a la mejora de la seguridad en la conducción.

PULSADORES	VALORACIÓN									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Reconocimiento de anuncio de parada (y de parada inmediata)										
Reconocimiento de preanuncio de parada/vía libre condicional										
Reconocimiento de anuncio de precaución										

Display

- 3- ¿Considera que la introducción del display del ASFA DIGITAL en cabina ha contribuido a mejorar la seguridad en la conducción?

Si No

- 4- Valore, en una escala de 1 a 10 siendo 1 poca y 10 mucha, la contribución que usted considera que cada uno de los siguientes elementos del display del ASFA DIGITAL ha aportado a la mejora de la seguridad en la conducción.

ELEMENTOS DEL DISPLAY	VALORACIÓN									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Velocidad real del vehículo/Velocidad del selector de velocidades de la conexión y puesta en marcha del equipo										
Velocidad de control final.										
Indicación de eficacia.										
Indicación de sobrevelocidad.										
Indicación de aplicación de freno de emergencia.										
Indicación de modalidad.										
Indicación de control de paso a nivel sin protección.										
Indicación de control de paso por desvío.										
Indicación de control de limitación temporal de velocidad										
Representación de la última información ASFA recibida.										
Indicación de tipo de tren										

Acústica

5- Valore la mejora introducida en la acústica del sistema ASFA DIGITAL:
 Poca mejora 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Mucha mejora

6- ¿Considera que los nuevos tonos asociados al exceso de velocidad han contribuido a disminuir los frenados de emergencia?
 Poco 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Mucho

7- ¿Considera que la intensidad de los tonos del ASFA Digital mantiene la alerta en la conducción?
 Poco 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Mucho

Panel repetidor

8- ¿Cree usted que la información adicional que se ha introducido en el panel repetidor del sistema ASFA DIGITAL ha contribuido a mejorar la seguridad en la conducción?
 Si No

9- Valore, en una escala de 1 a 10 siendo 1 poca y 10 mucha, la contribución que cada uno de los siguientes elementos del panel repetidor del ASFA DIGITAL ha aportado a la mejora de la seguridad en la conducción.

ELEMENTOS	VALORACIÓN									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Reconocimiento de paso a nivel sin protección										
Reconocimiento de limitación temporal de velocidad										
Indicación de aumento de velocidad de control final										
Indicación de rebase autorizado										
Indicación de conexión										

Reconocimiento de alarma										
Indicación de rearme de freno										
Indicación de ocultación										
Pulsador de modo										

Conducción en modo degradado (ASFA BÁSICO)

10- ¿Ha conducido con el modo degradado del ASFA Digital?

Sí No

En caso afirmativo,

a. Indique, aproximadamente, CUÁNTAS VECES ha conducido con el modo degradado del ASFA DIGITAL

	VALORACIÓN				
	Pocas	Alguna	Bastantes	Muchas	Siempre
Frecuencia de conducción modo degradado					

b. ¿Considera que ha contribuido a mejorar la seguridad en la conducción?

Poco 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Mucho

MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN