

A diferencia del sector de la automoción, en el que los propios conductores asumen la decisión de compra, en la industria del ferrocarril son las compañías operadoras las que toman dicha decisión basándose en la fiabilidad y el mantenimiento del material rodante, costes y, cada vez más, el confort del pasajero. Además, la toma de conciencia de la salud laboral ha conducido a que la ergonomía y el confort tengan cada vez más importancia en la conducción ferroviaria.

Este artículo describe el proceso de diseño de la cabina de conducción de un metro ligero, cuyas innovaciones principales son la participación de los maquinistas a lo largo de todo el proceso de diseño y el enfoque global en el diseño de la cabina, considerando tanto aspectos provenientes de la ergonomía clásica como factores no analizados en profundidad en este tipo de material rodante.

Este trabajo contribuirá a mejorar la salud y el confort de los conductores, lo que redundará en una conducción más segura.

### Urban rail cab design

Whereas in the automotive sector the purchase decision is made by the drivers themselves (end users), in the mass transit industry this decision is taken by companies that have purchase preferences mainly based on rolling stock reliability and maintenance, budget, and more and more passenger comfort. Furthermore, the awareness of occupational health has led to the rise of ergonomics and comfort concern in rail driving.

This paper describes a light-rail design process whose main innovations are the strong involvement of the cab end users (drivers) in the whole design process and the global approach to the cab design, taking into account aspects deriving from classical ergonomics, and other factors not yet deeply analyzed in this kind of rolling stock.

This research will contribute to improve drivers' wellness and comfort, thus guaranteeing a safer driving.

## Diseño de la cabina de conducción de ferrocarriles metropolitanos

José Ramón Ruiz Rodríguez\*, José S. Solaz Sanahuja\*, Helios de Rosario Martínez\*, Denis Miglianico\*\*

\*INSTITUTO DE BIOMECÁNICA DE VALENCIA

\*\*ALSTOM TRANSPORT

### INTRODUCCIÓN

La toma de conciencia medioambiental por parte de la población y de las administraciones está favoreciendo la implantación de nuevos servicios ferroviarios, que se muestran como el medio de transporte de masas menos contaminante. Siguiendo esta pauta, en muchas ciudades europeas se está procediendo a la introducción de un nuevo concepto de vehículo ferroviario denominado metro ligero, que favorece la movilidad urbana con unos costes de implantación muy inferiores a las redes convencionales de metro.

No obstante, las características propias del metro ligero, como son la marcha a la vista, la plataforma parcialmente compartida, la distancia reducida entre estaciones, etc., suponen una conducción más complicada, lo que requiere un diseño especialmente dirigido a favorecer los factores humanos.

Además, el nuevo material rodante metropolitano implementa sistemas de información embarcados (SIE) que son capaces de monitorizar el estado de los distintos componentes del vehículo y permiten prevenir al conductor acerca de posibles fallos o averías. Estas herramientas pueden causar una elevada carga cognitiva, por lo que su diseño debe respetar una serie de pautas que minimicen esta carga mental.

Por otra parte, como la plataforma por la que circula el metro ligero puede estar compartida puntualmente con automóviles, ciclistas, peatones, etc., la visibilidad del entorno se convierte en un aspecto fundamental para garantizar una conducción segura. En este sentido, existen herramientas de simulación antropométrica, que permiten determinar la visibilidad del maquinista, que mejoran en gran medida el diseño.

Sin embargo, éstas y otras herramientas de diseño carecen de sentido si el resultado final no cumple con las expectativas del usuario final, lo que se resuelve mediante su inclusión en el proceso de diseño a través de entrevistas, encuestas y evaluación de prototipos.

En el presente proyecto se han seguido dos enfoques paralelos y complementarios. Por un lado, se ha obtenido información de los maquinistas mediante cuestionarios (confeccionados a partir de reuniones con los responsables de las empresas operadoras) y, por otro, se ha realizado una evaluación ergonómica mediante programas de simulación antropométrica y la utilización de modelos heurísticos cognitivos para evaluar la interfaz persona-máquina del SIE.

>

## DESARROLLO

### Paneles de expertos y encuestas

Para realizar un primer acercamiento a los aspectos relacionados con la conducción del metro ligero, se realizaron cuatro paneles de expertos en distintas explotaciones cuyo punto común fue la utilización de material rodante CITADIS, fabricado por Alstom Transport.

A partir de la información recogida en los paneles se elaboró un cuestionario que se repartió entre maquinistas de las explotaciones participantes en el proyecto. Dicho cuestionario incluyó aspectos relacionados con la conducción y la interacción vehículo-maquinista.

Como se puede ver en la figura 1, únicamente una tarea secundaria implementada en el pupitre de conducción fue puntuada por más del 25% de los maquinistas encuestados como incómoda (TS6). De hecho, hubo consenso general entre los expertos, los conductores y los investigadores en que el mando relacionado con dicha tarea debería desplazarse a un lugar más adecuado en el pupitre de conducción.

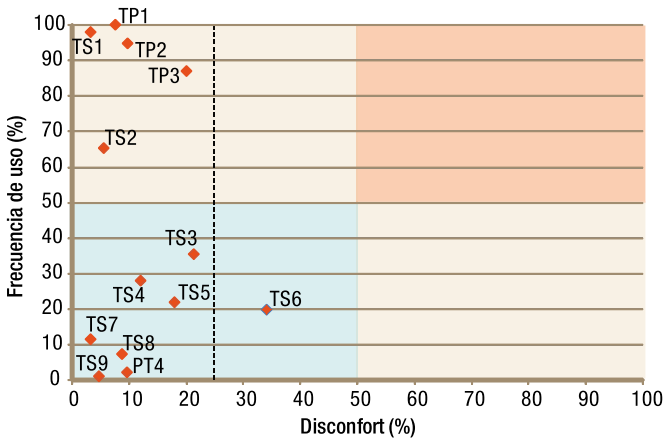


Figura 1. Discomfort vs. frecuencia. TP: tarea primaria, TS: tarea secundaria.

### Simulaciones CAD

Se evaluaron ergonómicamente las posturas más representativas de la conducción de este tipo de vehículos y la visibilidad de un obstáculo de 1 metro de altura situado a 1 metro del testero del vehículo.

La simulación de una tarea secundaria número 3 (Figura 2) mostró que una maquinista cuya estatura correspondiese al



Figura 2. Activación de la tarea secundaria número 6 (TS6).



Figura 3. Alcance de la parte central del pupitre.

percentil 5 de altura de la población europea (de tamaño corporal pequeño) alcanzaría de una manera forzada el mando con el que se ejecuta dicha tarea (Figura 2), lo que concuerda con los resultados anteriores. En la figura 3 se muestra la simulación realizada desplazando dicho control a una posición central del pupitre y generando una postura mucho más adecuada desde un punto de vista ergonómico.

Por otra parte, el análisis de la visibilidad (Figura 4) muestra que el campo de visión del maquinista anterior estaría bloqueado por la parte superior del pupitre de conducción, impidiéndole ver el punto establecido como criterio. Una solución válida para resolver este aspecto sería permitir una mayor elevación del asiento. La inclusión de un reposapiés ajustable en altura resolvería cualquier dificultad que pudiera surgir para alcanzar los pedales.

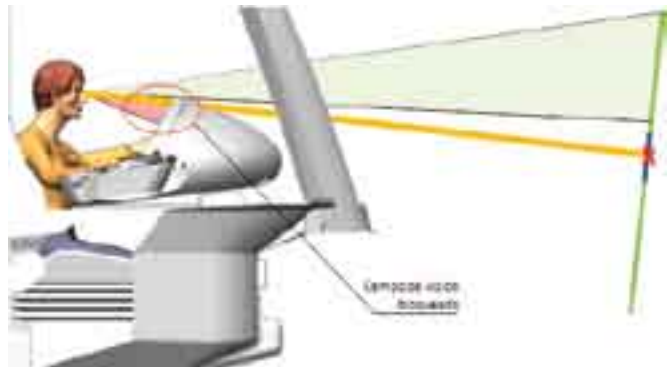


Figura 4. Simulación de la visibilidad (percentil 5).

### Análisis de la interfaz hombre-máquina (HMI)

El análisis realizado consistió en la evaluación de las pautas de diseño relacionadas con la usabilidad de los sistemas HMI y la definición de modelos heurísticos del sistema. Estos modelos están basados en la abstracción del interfaz en un conjunto de estados posibles, y la implementación de las reglas que gobiernan las relaciones entre esos estados. Estos modelos permiten la obtención de diferentes parámetros relacionados con la usabilidad.

Concretamente, la figura 5 representa el diagrama de todos los estados posibles del HMI analizado. Cada caja representa un estado diferente en el interfaz. Éstos se han clasificado en tres categorías distintas:

- Verde: accesible en cualquier condición.
- Azul: accesible únicamente con permisos del operador.
- Naranja: alarmas.

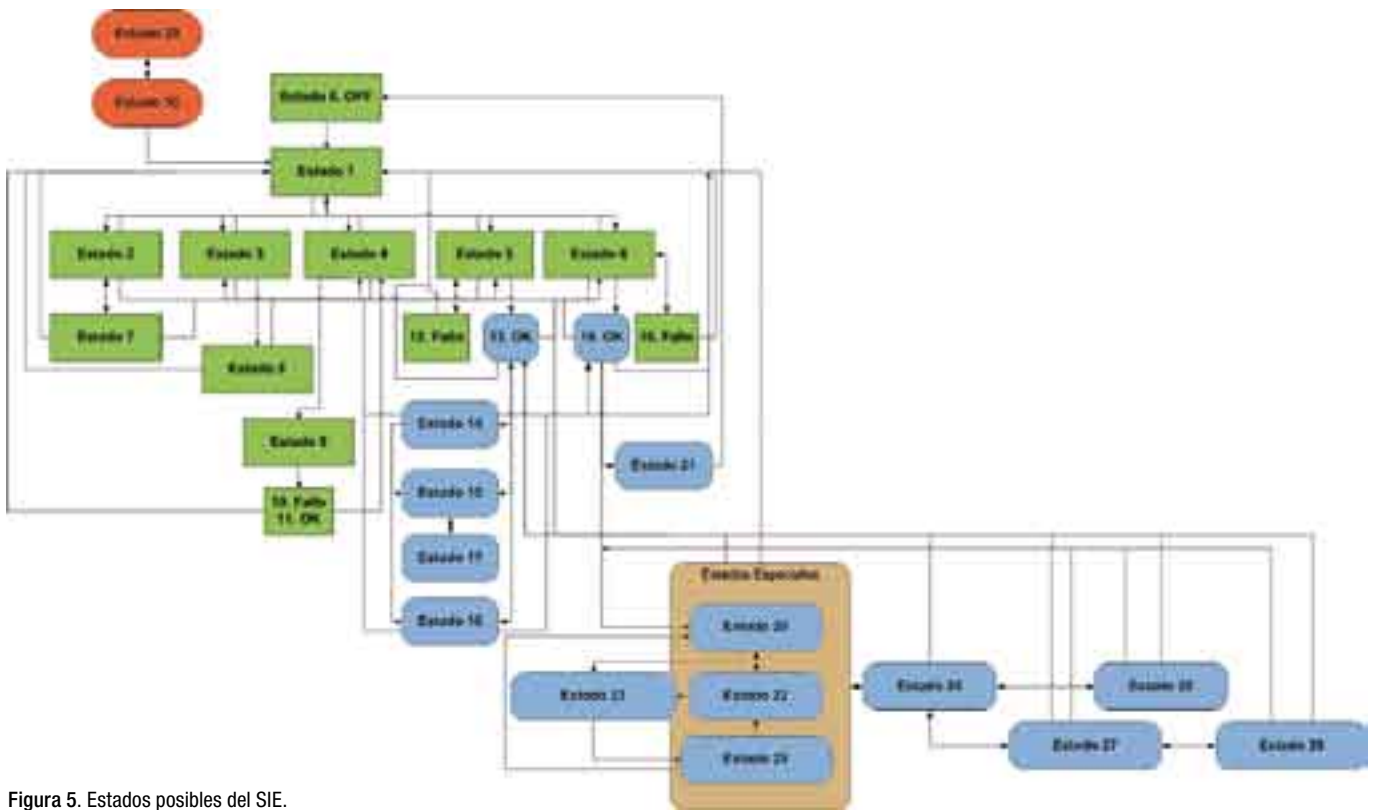


Figura 5. Estados posibles del SIE.

En este caso, los maquinistas únicamente pueden acceder a los estados generales (verde y naranja), con lo que se han considerado un total de 15 estados.

La figura 6 representa el número medio de pasos necesarios para acceder a cada estado desde cualquier otro para los maquinistas. En esta gráfica cada barra representa un estado diferente.

El número medio de pasos para acceder a cualquier estado está por debajo del número máximo de niveles para navegar en un menú, lo que significa que en general el procedimiento de navegación por el SIE del CITADIS tiene un coste aceptable en términos de pasos intermedios y consumo de tiempo.

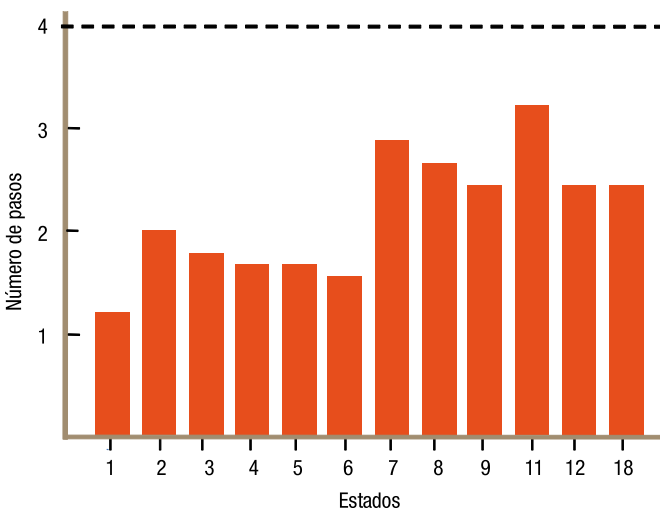


Figura 6. Número medio de pasos. La línea de puntos indica el número máximo de pasos recomendado para alcanzar un estado.

## CONCLUSIONES

A pesar de la paulatina inclusión de la ergonomía en los diseños actuales de puestos de conducción ferroviarios, los continuos retos e innovaciones tecnológicas requieren nuevas herramientas de diseño y la evaluación de los factores humanos en la conducción.

Los nuevos desarrollos en el campo de la ciencia de los materiales permiten a los diseñadores crear estructuras inconcebibles hace sólo unos años. Estos diseños exteriores influyen de una manera muy importante en la visibilidad que el conductor posee del entorno. La relación entre el material rodante y la superestructura ferroviaria es otro punto clave que afecta a la conducción, ya que la introducción de, por ejemplo, segmentos con prioridad semafórica y agujas controladas desde el vehículo implica un mayor número de controles y carga de trabajo.

Además, los sistemas de información embarcados deben ser diseñados cuidadosamente para evitar que se conviertan en un factor de aumento de la carga cognitiva, en lugar de ser instrumentos de ayuda a la conducción.

De esta manera, las metodologías presentadas en este artículo permiten un diseño global de la cabina del vehículo ferroviario manteniendo al conductor como el eje en torno al que gira el diseño.

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido desarrollado para Alstom Transport dentro del marco de colaboración establecido con el IBV.

Los autores agradecen su colaboración y participación al personal, y en especial a los maquinistas de TRAM, KEOLIS, TRANSDEV y RATP.