

## Tecnologías hápticas para mejorar la seguridad en la conducción

Durante los cuatro años del proyecto MARTA, el Instituto de Biomecánica (IBV) ha llevado a cabo para FICOSA International diversos estudios con conductores en un simulador de automóvil. Con la cooperación del Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Gipuzkoa (CEIT), se han estudiado las sensaciones y reacciones de los usuarios ante el manejo de tecnologías innovadoras basadas en la interacción táctil. De este modo se han analizado alarmas vibrotáctiles de colisión frontal o de somnolencia, integradas en el pedal del acelerador, así como un sistema de control de la climatización en pantalla táctil y un nuevo control manual de conducción semiautomática.

### Development of haptic technologies for the interaction with vehicles in the project MARTA

During the four years time of the project MARTA, funded by the Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), IBV has performed for FICOSA International several studies with drivers in a car simulator, with the collaboration of CEIT, where we have analysed the sensations and reactions of people using innovative technologies based on tactile interaction. Thus, we have analysed vibrotactile alarms to prevent frontal collisions and sleepiness, integrated in the accelerator pedal, as well as an air conditioning system embedded in tactile screens, and a new manual control for semiautomatic driving.

Helios de Rosario Martínez<sup>1</sup>, José S. Solaz Sanahuja<sup>1</sup>, Elisa Signes i Pérez<sup>1</sup>, Andrés Soler Valero<sup>1</sup>, Nicolás Palomares Olivares<sup>1</sup>, Jordi Jornet<sup>2</sup>, Marc Dominguis<sup>2</sup>, Jorge Juan Gil Nobajas<sup>3</sup>, Iñaki Díaz Garmendia<sup>3</sup>, Mikel Echeverría Larrañaga<sup>3</sup>

<sup>1</sup> INSTITUTO DE BIOMECÁNICA DE VALENCIA

<sup>2</sup> FICOSA INTERNATIONAL S.A.

<sup>3</sup> CEIT

### INTRODUCCIÓN

El proyecto MARTA (Movilidad y Automoción con Redes de Transportes Avanzadas) ha sido uno de los 16 proyectos de investigación aprobado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) en la tercera convocatoria del Programa de Consorcios Estratégicos Nacionales de Investigación Técnica (CENIT), dirigido a fomentar la cooperación público-privada en I+D+i. Este proyecto ha servido para sentar las bases científicas y tecnológicas para la movilidad del siglo XXI, que permitirán al sector ITS (*Intelligent Transport Systems*) español responder a los retos de seguridad, eficiencia, sostenibilidad, etc., a los que se enfrentan las sociedades europeas en general y la española en particular.

Con esta meta común se han coordinado 18 compañías relacionadas con el sector de la automoción, las telecomunicaciones y las nuevas tecnologías, apoyadas por 19 universidades y centros tecnológicos, entre los que se encuentra el Instituto de Biomecánica (IBV). En términos generales el proyecto MARTA ha cubierto aspectos como protocolos y redes, equipamientos para vehículos (sensores, actuadores y módulos de comunicación), equipamientos para infraestructuras, servicios para el usuario final, servicios para aumentar la eficiencia de la red vial, la integración en vehículo y la certificación. El trabajo del IBV se ha centrado en el estudio de nuevas formas de interacción con el conductor, basadas en la tecnología háptica.

La interacción háptica tiene que ver con la percepción de fuerzas y pequeños movimientos (presiones, vibraciones, etc.) a través de los canales táctiles. Esta forma de interacción permite a los conductores recibir información sin aumentar su carga visual, que es el aspecto crítico en el uso de interfaces hombre-máquina dentro de los automóviles y otros medios de transporte. El conductor ha de prestar atención constante a muchos estímulos visuales (carretera, señales de tráfico, otros vehículos, peatones, velocímetro, etc.), cada vez más numerosos debido a nuevos indicadores y dispositivos que se pueden encontrar o agregar a los vehículos. Así pues, aunque la tecnología permite proporcionar a los conductores información que puede ser útil o incluso vital para el buen manejo del vehículo, la gestión del tráfico y la prevención de accidentes (avisos de peligros inminentes, alarmas ante signos de somnolencia, etc.), es necesario transmitir esta información sin provocar una distracción que cree otros riesgos.

La solución más obvia a este conflicto es utilizar otros canales complementarios a la vista para transmitir la información, como el oído o el tacto. Las alarmas y mensajes acústicos (timbres, pitidos y otros "iconos auditivos", así como mensajes hablados) son útiles para presentar información compleja y direccional. Por otro lado, la interacción

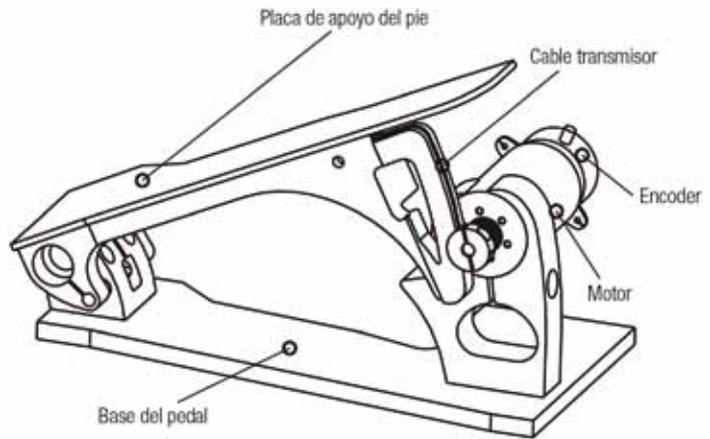


Figura 1. Diseño del pedal háptico (CEIT).

de tipo háptico puede estimular directamente las partes del cuerpo relacionadas con las acciones a realizar (las manos si se requiere un giro del volante, o los pies si se requiere pisar los pedales), por lo que es especialmente adecuada para los casos en los que se requiere una acción inmediata, casi simultánea a la percepción.

Siguiendo este principio, FICOSA International ha desarrollado, con la ayuda del Departamento de Mecánica Aplicada del CEIT y del IBV, unos dispositivos basados en tecnología háptica: alarmas de colisión frontal y somnolencia integradas en el pedal acelerador, un sistema de climatización táctil y un nuevo concepto de mando compatible con la conducción semiautomática. En estos desarrollos, el CEIT ha diseñado y creado los prototipos del pedal y el mando de conducción semiautomática, utilizando tecnología "by-wire" más sistemas de control y feedback háptico. El IBV ha proporcionado su asesoramiento en el diseño desde el punto de vista del usuario y ha llevado a cabo las pruebas con usuarios para validar los diseños y obtener las configuraciones óptimas de uso.

## METODOLOGÍA EMPLEADA

### Alarmas de colisión frontal y somnolencia mediante un pedal háptico

Uno de los dispositivos estudiados fue un pedal háptico fabricado por CEIT, que ofrecía cierta resistencia y podía generar estímulos vibrotáctiles configurables por *software* (Figura 1). Para proporcionar un *feedback* realista y eficaz, el diseño puso especial énfasis en las fuerzas de contrapeso y en la ratio rigidez-peso. La finalidad de los estudios realizados con este pedal fue comprobar su eficacia como elemento de ayuda a la conducción, generando avisos ante situaciones de emergencia como una posible colisión o somnolencia del conductor. Participaron 44 sujetos (30 para el primer experimento y otros 14 en el segundo) como usuarios en esta fase del proyecto, utilizando un simulador de conducción con bastidor ligero, en el que se integró el pedal para controlar la aceleración del vehículo (Figura 2).

Para conseguir la máxima eficacia, en el primer estudio se probaron distintos patrones mecánicos de la vibración,

variando la amplitud y la frecuencia del estímulo, y analizando tanto la reacción objetiva como la respuesta subjetiva del conductor ante las alarmas. La reacción objetiva se midió en términos de:

- Tiempos de reacción a la alarma.
- Control de la velocidad después de la alarma.
- Control de la distancia al vehículo delantero.

Para medir las sensaciones subjetivas, se hizo una evaluación semántica. Este estudio sirvió para validar la eficacia de los estímulos vibrotáctiles como avisos contra colisiones frontales. Se comprobó que, en términos medios, los conductores reaccionan 0.30 segundos antes y aumentan la distancia de seguridad en 6.7 m más que cuando se utilizan estímulos únicamente visuales. Además, aunque se apreció que el aumento en la frecuencia y la intensidad tenían efectos contrapuestos (aumentan la eficacia, pero también causan mayores molestias), se consiguió definir la configuración más adecuada para un correcto equilibrio entre eficacia y confort.

El segundo estudio tuvo como objetivo evaluar diferentes configuraciones de avisos contra la somnolencia, combinando el estímulo háptico con señales visuales y acústicas. Esta



Figura 2. Pruebas con el pedal háptico en simulador con bastidor ligero.

combinación se realizó en diferentes secuencias para reducir el efecto de "habitación", por el cual los avisos podrían perder gradualmente su efecto a medida que se repiten. El nivel de atención se midió en términos de calidad de la conducción, y también mediante medidas fisiológicas como el ritmo cardíaco y la respiración, así como por una autoevaluación de los conductores. Para facilitar los estados de somnolencia, las pruebas consistieron en realizar un recorrido de carretera nocturna durante 3 horas; 10 de los participantes habían dormido menos de 4 horas la noche anterior a la prueba, otros 2 habían permanecido más de 20 horas seguidas sin dormir, y un grupo de control de 2 usuarios más había dormido de modo normal.

Las alarmas se activaron varias veces durante cada prueba, siguiendo dos patrones de intensidad (uno creciente y otro decreciente).

Las pruebas mostraron un descenso sistemático de la variabilidad del ritmo cardíaco cada vez que se activaba la alarma, lo cual es un efecto típico de un aumento en los niveles de atención. A su vez, se apreció que en la mayoría de casos el control lateral del vehículo mejoraba después de activarse las alarmas. Este efecto aumentaba de manera progresiva según se repetían las alarmas. Además, el primer efecto observado (aumento de la atención) era más acusado cuando se utilizaba el patrón de intensidad ascendente, y en ambos casos los resultados eran especialmente claros para el grupo de conductores que no habían dormido en más de 20 horas. De acuerdo con la opinión subjetiva de los usuarios, se confirmó que la vibración era la modalidad más adecuada para la alarma contra la somnolencia (modalidad preferida para el 54% de los participantes).

### Sistema de climatización táctil

Otro de los dispositivos estudiados fue el sistema de climatización táctil, integrado en uno de los prototipos de "coche MARTA". El objetivo del estudio fue aportar los fundamentos ergonómicos, así como la percepción y la experiencia de los usuarios, para ayudar a que el uso del sistema fuera agradable, fácil y seguro. Para ello se planteó un análisis en tres fases:

1. Estudio de ergonomía básica sobre las especificaciones de diseño y un prototipo virtual.
2. Establecimiento de cuáles son los efectos táctiles y acústicos que prefieren los usuarios.
3. Análisis de la eficacia de uso, distracción visual y opinión subjetiva sobre el sistema de climatización.

En las fases 2 y 3 participaron 20 conductores, realizando las pruebas de conducción en un simulador con carrocería completa, con el fin de proporcionar una experiencia inmersiva y lo más realista posible (Figura 3). En estas pruebas se midió tanto la percepción del usuario como la interferencia del sistema sobre la conducción y su efecto sobre la carga mental, mediante el método del "Lane Change Test" (ISO 26022) y el "Driver Activity Load Index", basado en el "Task Load Index" de NASA. Como índice adicional de efecto sobre la seguridad, también se evaluó el nivel de distracción visual (número y duración de miradas fuera de la carretera), mediante un sistema de seguimiento de la mirada embarcado en el simulador (Figura 4).

En este estudio se identificaron el tipo de estímulos acústicos y táctiles más adecuados entre 5 posibilidades para cada tipo de señal. En relación con la posible interferencia entre la tarea principal (conducción) y la secundaria (uso del sistema de climatización), se comprobó que, una vez puesto en marcha el sistema y dependiendo de la acción realizada, la posición media del vehículo en el carril podía mantenerse inalterada, o en el peor de los casos desviarse 12.5 cm más que en la condición "base" (cuando el conductor permanecía atento a la carretera la desviación era de 56.5 cm). En cualquier caso, gracias al diseño del dispositivo, todas las acciones cumplían los criterios de seguridad en términos de distracción (duración completa de las tareas menor de 15 segundos, y menos de 2 segundos de distracción visual en cada mirada).



Figura 3. Pruebas con el sistema de climatización en simulador con carrocería completa.



Figura 4. Seguimiento de la mirada durante la conducción del vehículo y el uso del sistema de climatización. Las trayectorias de la mirada (puntos y líneas azules) indican un enfoque de la atención a la parte central del carril y las señales a los lados de la carretera, más algunas desviaciones hacia el interfaz del sistema (miradas que se apartan hacia la derecha).

## Control manual de conducción semiautomática

Un tercer dispositivo estudiado durante el proyecto fue un control de la dirección y la aceleración del automóvil utilizando únicamente los miembros superiores, a través de feedback háptico "by-wire" en tiempo real (Figuras 5 y 6). Este tipo de soluciones son una oportunidad para mejorar el confort y la eficacia de la conducción, así como la movilidad de personas mayores o con discapacidades.

Tras una extensa revisión de las soluciones existentes en vehículos adaptados, mandos de aviación y "concept cars", se diseñó un prototipo que controla el guiado del vehículo, la aceleración, las marchas y los frenos con sólo movimientos de la mano y el brazo. Este diseño se hizo tras recoger la opinión y las necesidades de personas con limitaciones funcionales en los miembros inferiores, que son los beneficiarios potenciales más claros del concepto, y teniendo en cuenta criterios ergonómicos, para que el dispositivo fuese usable, atractivo y fácil de manejar, incluso por conductores con poca experiencia. En el desarrollo conceptual se persiguieron tres objetivos:

1. Diseño ergonómico. El diseño se basó en la antropometría, rangos de movimiento, umbrales de fuerza y capacidad de coordinación de los usuarios. Estos aspectos son esenciales para un concepto innovador que ha de percibirse como algo cómodo, fácil de usar y tan seguro como los mandos tradicionales. Por ejemplo, se desacopló el control de la dirección y de la aceleración, en oposición a los joysticks de adaptaciones habituales, haciendo que ambas acciones se produzcan con movimientos de partes del brazo distintas (giro de muñeca para la aceleración, y movimiento del antebrazo para la dirección). La ganancia del sistema también se programó de manera no lineal, para un control preciso a pesar de los pequeños rangos de movimiento del mando.
2. Feedback realista y eficaz. Los actuadores hápticos y los algoritmos en tiempo real han sido la clave para que los usuarios puedan sentir el efecto de sus acciones, ya que no hay una relación mecánica directa entre el mando y la transmisión del vehículo. Los actuadores seleccionados son similares a los que se emplean en aplicaciones médicas, donde la precisión y la fiabilidad son esenciales.
3. Diseño inclusivo. El mando está destinado a ser un futuro dispositivo de control del vehículo para un amplio rango de edades. Las personas con discapacidad del miembro inferior son unos de los beneficiarios más claros del concepto, pero su diseño se ha apartado de soluciones ortopédicas.

## CONCLUSIONES

En estos estudios se ha determinado cómo distintos tipos de estímulos y formas de interacción afectan la forma de conducir (control de la velocidad y de la posición en el carril, capacidad de reacción, comportamiento visual), las reacciones del cuerpo del conductor (respiración, ritmo cardiaco), y a su propia percepción de la experiencia. Las pruebas con usuarios han confirmado la eficacia de los estímulos vibrotáctiles como medio de interacción con el vehículo, y para prevenir situaciones de riesgo, comprobando que una ligera vibración produce respuestas más rápidas en el conductor y un mejor control del vehículo que las alarmas visuales. Estos



Figura 5. Diseño del mando "by-wire" (FICOSA).



Figura 6. Prueba de conducción con el mando "by-wire" (CEIT).

resultados objetivos coinciden con la percepción del usuario, que valora los estímulos táctiles como mejores y más eficaces que los avisos visuales.

Con estos nuevos dispositivos se podrá mejorar la información proporcionada a los conductores durante el uso del vehículo, sin que éstos tengan que desviar la vista o la atención de la principal tarea que están llevando a cabo: conducir con total seguridad para sí mismos, sus acompañantes y otros usuarios de la carretera. Además, la tecnología háptica también puede ser utilizada para nuevas formas de conducción, que mejoren la movilidad y la accesibilidad de todos los usuarios.

## AGRADECIMIENTOS

El proyecto MARTA ha sido financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial, dentro del 3er Programa CENIT, en el marco del Programa INGENIO 2010 del Ministerio de Ciencia y Tecnología.