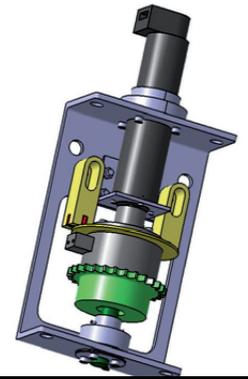


# Dispositivo universal para el control automático de la dirección de un vehículo



## UNIVERSAL DEVICE FOR AUTOMATIC CONTROL OF A VEHICLE STEERING SYSTEM

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7007> | Recibido: 13/11/2013 • Aceptado: 27/01/2014

Felipe Jiménez-Alonso, José Eugenio Naranjo-Hernández y Óscar Gómez-Casado

Universidad Politécnica de Madrid. Instituto Universitario de Investigación del Automóvil (INSIA). Campus Sur de la UPM. Carretera de Valencia, km. 7. - 28031 Madrid. Tfno: +34 913 365317. felipe.jimenez@upm.es

### ABSTRACT

• Road vehicle steering automation is an essential part of any kind of application that involves autonomous driving or navigation. Vehicle manufacturers can perform this automatic control because they have access to the vehicle control unit and the internal communication bus. However, this solution involves knowledge of communication protocols and a certain electronic architecture. This paper presents a device able to control the steering of a road vehicle without necessity of the intervention of human drivers. This device can be installed in any kind of vehicle independently of the kind of assistance of the steering only by attaching a single mechanical coupling element between the device and the steering column. The architecture of the device also allows switching between manual and automatic control electronically at any moment. The developed device can be used to support any kind of Advanced Driver Assistance System that requires automatic steering control up to autonomous driving.

• **Keywords:** Automation, steering, vehicle, mechanism.

### RESUMEN

La automatización de la dirección de un vehículo de carretera es una parte esencial de cualquier tipo de aplicación que implica la conducción autónoma o la navegación. Los fabricantes de vehículos pueden llevar a cabo este control automático, ya que tienen acceso a la unidad de control del vehículo y el bus de comunicación interno. Sin embargo, esta solución implica el conocimiento de protocolos de comunicación y una cierta arquitectura electrónica. En este trabajo se presenta un dispositivo capaz de controlar la dirección de un vehículo de carretera sin necesidad de la intervención de los conductores humanos. Este dispositivo puede ser instalado en cualquier tipo de vehículo, independientemente de la clase de asistencia de la dirección, sólo adaptando un solo elemento de acoplamiento mecánico entre el dispositivo y la columna de dirección. La arquitectura del dispositivo también permite la conmutación entre el control manual y automático electrónicamente en cualquier momento. El dispositivo desarrollado se puede utilizar para apoyar cualquier tipo de sistema de asistencia al conductor que requiera control de dirección automática hasta la conducción autónoma.

**Palabras clave:** Automatización, dirección, vehículo, mecanismo.

### 1. INTRODUCCIÓN

El número de accidentes de tráfico y los muertos y lesionados que se producen en la carretera han venido estimulando, tanto por parte de los gobiernos como de los fabricantes de automóviles, la búsqueda de soluciones para reducir este problema. De estudios accidentológicos, se obtiene que un muy alto porcentaje de los accidentes se debe a errores humanos y casi un 80% están directamente relacionados con conductas indebidas del control lateral del vehículo tales como atropellos, salidas de carril, alcances traseros, cambios de carril o choques en ángulo [1]. Evitar este tipo de accidentes es el objetivo fundamental de los *Sistemas Avanzados de Asistencia a la Conducción* (ADAS) [2], finalizados al desarrollo de herramientas tecnológicas que puedan ser implantadas en los vehículos de carretera para ayudar al conductor y, en algunos casos, tomar el control del vehículo en determinadas situaciones.

Así, nos encontramos con sistemas que pueden tomar el control de los dos actuadores fundamentales de un automóvil: el volante y la velocidad, también denominados control lateral y control longitudinal, respectivamente. Se entiende

por *vehículo autónomo* aquel que es capaz de circular sin la intervención humana [3]. Esta descripción no se refiere únicamente a los vehículos con la capacidad de sustituir toda intervención humana, sino los vehículos que incorporan sistemas de asistencia que pueden ejecutar acciones concretas de forma automática como el aparcamiento [4, 5], el mantenimiento o cambio de carril [6], el adelantamiento [7], o la evitación de colisiones [8, 9]. En este artículo nos centraremos en los sistemas de asistencia a la conducción basados en actuación sobre el control lateral del vehículo.

Tradicionalmente, la dirección asistida de un vehículo utiliza una bomba hidráulica para facilitar su manejo por parte del conductor, disminuyendo el par que es necesario efectuar sobre el volante para mover las ruedas. Dicha bomba hidráulica general presión que es regulada por una válvula situada al final de la barra de dirección y que se abrirá en un sentido u otro según el movimiento del volante, generando la asistencia deseada [10].

Este tipo de direcciones asistidas son las más comunes en la mayoría de los vehículos automóviles; no obstante, en algunos coches modernos, este sistema hidráulico ha sido sustituido por un sistema electromecánico, compuesto por un motor eléctrico acoplado en algún punto de la dirección y un sensor de par instalado en la columna de dirección [11, 12]. Este sensor de par calcula el par que está ejerciendo el conductor en cada momento para girar el volante, enviando una señal electrónica al motor, que asistirá este par del conductor con un par adicional, proporcional al medido por el sensor.

Los sistemas de asistencia activa a la dirección de los vehículos se llevan estudiando desde hace más de 30 años, como se muestra en el trabajo de Kasselman y Keranen [13], en el que se desarrolló un sistema de control activo que mide el error angular de las ruedas del vehículo respecto de la posición deseada por el conductor, mediante un giróscopo y utiliza realimentación proporcional para generar una salida incremental para manejar el volante. Este estudio nunca se convirtió en un producto comercial, pero la idea central que postulaba el manejo automático de la dirección, de forma parcial o total, aún se mantiene vigente.

Las soluciones adoptadas para la automatización de la dirección han sido tradicionalmente diferentes en función del tipo de asistencia que tuviese el vehículo. Así, para los vehículos que no disponen de dirección asistida eléctrica es necesario el acoplamiento de algún tipo de dispositivo habitualmente motores eléctricos, en algún punto de la dirección del vehículo con el fin de proceder a su automatización o, al menos, permitir su control desde un sistema externo. En [14, 15] se describen los trabajos en automatización y control de una dirección asistida hidráulicamente utilizando un motor eléctrico acoplado a la barra de dirección mediante un engranaje, que se engrana y desengrana utilizando la regulación en altura el propio volante.

En trabajos llevados a cabo por el grupo *VisLab* de la *Universidad de Parma*, se ha desarrollado un sistema de control de la dirección de un coche que se basa en un sencillo controlador analítico proporcional, optimizado para el seguimiento de rutas, que maneja el volante mediante un motor acoplado a la barra de dirección mediante una polea [16], el cual se acopla y desacopla manualmente. En Estados Unidos, dentro del programa *California PATH*, se desarrolla un enfo-

que similar [17], donde se realiza un control de la dirección basado en control borroso, cuya automatización se ha realizado mediante un motor eléctrico acoplado a una polea y engranaje y desengranaje manual. Otro desarrollo experimental se presenta en [18], donde se describe el diseño e implementación de un control lateral automático instalado en un Audi A8. La adquisición de datos se hace mediante visión artificial y la actuación con un motor acoplado a la barra de dirección. En [19] se presenta un sistema basado en motores eléctricos para asistir el movimiento del volante de un vehículo automóvil. De forma similar, en la patente [20] se reivindica un sistema para automatizar la conducción de un vehículo mediante, entre otras cosas, la instalación de un servomotor acoplado a la dirección del vehículo, pero sin ningún detalle adicional sobre el montaje o características técnicas al respecto. Esto mismo ocurre en la patente [21].

Aquellos vehículos con asistencia eléctrica de la dirección no requieren de un aparato mecánico específico para su control automático, sino un nuevo controlador adicional que envíe las señales oportunas al sistema de asistencia en vez de controlador convencional del vehículo, cuya señal no se considera en caso de disponer de la primera [22].

Otro método para lograr la automatización de una dirección, con independencia del tipo de asistencia, consiste en la instrumentación de la barra de dirección o el volante mediante un dispositivo no fijo y ocupando el habitáculo del conductor, lo que implica que para conducir el vehículo en modo manual hay que desmontar el sistema. Así, la patente [23] reivindica un sistema para automatizar la dirección de un vehículo que se acopla al aro del volante mediante una mordaza y transmite el movimiento mediante una cadena y un motor, sujeto al habitáculo del vehículo con miembros de soporte. De hecho, este método de actuar sobre la dirección está bastante generalizado en instrumentación, encontrándose diversos “*robot de conducción*” en el mercado y sujetos a sus correspondientes patentes. Así, podemos encontrar este tipo de desarrollos en las patentes [24, 25], entre otras.

En el ámbito de los vehículos agrícolas, el guiado automático se introdujo hace años como una mejora para la productividad. Los diferentes fabricantes ofrecen soluciones que pueden ser acopladas a sus modelos específicamente preparados para ello o, incluso, adaptarse a otros modelos de otros fabricantes. Como ejemplo, se puede citar el sistema *AutoTrac* de *John Deere* [26] que permite el guiado por trayectorias prefijadas.

El estudio de las alternativas aportadas a la automatización de la dirección muestra un amplio abanico, si bien la solución para la automatización suele ser muy adaptada a cada caso concreto y presentan limitaciones en cuanto a su posible implantación en cualquier tipo de vehículo. En este sentido, este artículo presentará una solución aplicable a cualquier tipo de vehículo, con independencia de su arquitectura electrónica, el conocimiento o no de los protocolos internos de comunicación, y el tipo de asistencia a la conducción.

Así, podrá ser montado para dar soporte a cualquier aplicación de asistencia que se desee constituyendo una capa de bajo nivel invisible para el control superior del sistema de asistencia. Además, resulta necesario contemplar que el sistema no debe ser intrusivo para la tarea del conductor, el cual no debe perder el control del vehículo en ningún momento si

quisiese anular las acciones del sistema y, por último, pero esencial para su empleo en un gran número de aplicaciones de asistencia a la conducción de forma efectiva, el sistema debe poder conmutarse entre los estados de conducción manual y autónoma de forma automática para tomar el control o devolverse al conductor cuando las circunstancias así lo requieran sin precisar condiciones de operación concretas.

## 2. MÉTODO

A continuación, se pasa a describir el dispositivo para la automatización de la dirección así como el esquema de control propuesto.

### 2.1. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

El dispositivo propuesto persigue superar los problemas detectados en el estado de la técnica anterior de forma que permita el manejo de la dirección de un vehículo de forma autónoma, sin intervención del conductor y que aporte las siguientes ventajas de forma simultánea:

- El aparato debe ser independiente del tipo de vehículo, su configuración electrónica, y el tipo de asistencia de la dirección (eléctrica o hidráulica), incluso de la presencia o no de dicha asistencia, a diferencia de otros desarrollos previos que requieren un tipo concreto.
- El montaje del aparato no debe implicar ninguna modificación permanente sobre el vehículo, ni eliminar la columna de la dirección.
- El control de la dirección no debe estar vinculado a proporcionar órdenes a través del bus interno de comunicaciones del vehículo, lo que permitirá la universalidad del aparato al no ser preciso el conocimiento de las tramas de comunicación del modelo de vehículo concreto.
- El acoplamiento o desacoplamiento del modo autónomo debe ser controlado de forma automática y no manual como en otros desarrollos, pudiéndose llevar a cabo en movimiento y de forma instantánea, desde el mismo procesador que controla la dirección.
- El conductor no debe perder el control completo de la dirección del vehículo en el caso de que no quisiese seguir las acciones propuestas por el sistema de control del aparato.
- No debe ser visible desde el habitáculo del vehículo y no interferir en la tarea de conducción.
- El enclavamiento y soporte del aparato debe ser removible, con lo que no requiera homologación ni interfiera con las características de serie del propio vehículo donde se instale.

Algunas de las características anteriores también son compartidas por otros desarrollos previos, si bien no son capaces de satisfacer todas ellas al mismo tiempo.

### 2.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema propuesto se ha desarrollado con el fin de cumplir con las características antes mencionadas y está formado por tres componentes principales: mecanismo mecánico, amplificador de potencia y ordenador de control (Figura 1).

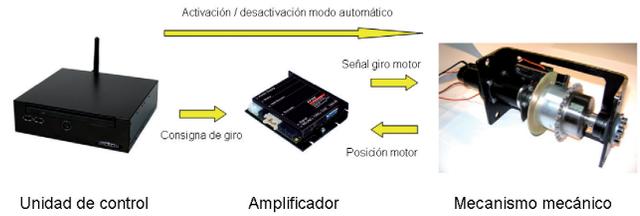


Fig. 1: Arquitectura funcional y organización de componentes del sistema

El objetivo del mecanismo de automatización de la dirección es el de transmitir un par de giro de un motor eléctrico a la columna de dirección, a través de un engranaje o puela como se muestra en la Figura 2. La puela está unida a la columna de dirección a través de una rueda dentada que se acopla a la columna con una pieza de montaje ad-hoc. Esta pieza de montaje debe ser adaptada para cada vehículo y es la única de la estructura mecánica que necesita ser adaptada en función de la clase de vehículo. Para facilitar el montaje de la pieza, se ha diseñado en dos mitades unidas con tornillos.

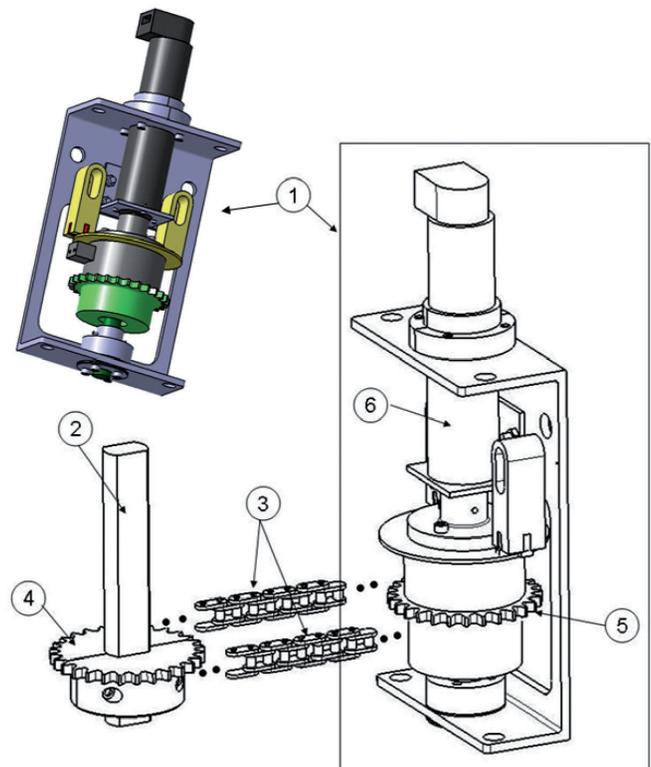


Fig. 2: Esquema general del dispositivo mecánico. 1. Estructura principal. 2. Columna de la dirección, 3. Cadena. 4. Rueda dentada en columna de la dirección, 5. Rueda dentada unida al motor eléctrico, 6. Motor eléctrico

Por lo tanto, el motor gira en función de los comandos recibidos por el controlador a partir de evaluar su posición, información proporcionada desde un *encoder* conectado al motor eléctrico. La rotación del motor se transmite a una rueda dentada que se acopla con otra parte de características similares,

que se fija a la columna de dirección. Este sistema es similar al que ya se utiliza en otras soluciones de automatización en vehículos con sistema de dirección de asistencia hidráulica. Sin embargo, en ellas, el cambio del modo manual al automático de conducción y viceversa se realiza manualmente y, en general, cuando el vehículo está parado. El sistema que se propone supera esta limitación a través de un sistema intermedio que actúa como un embrague (más específicamente, un embrague electromagnético) que permite que la rotación se transmita o no del motor eléctrico a la columna, siendo esta solución independiente del tipo de asistencia del sistema de dirección del vehículo. Por lo tanto, la rotación del motor puede llegar a ser independiente de la rotación de la columna si así se desea, y no implica un vínculo rígido entre ambos movimientos.

El principal conjunto mecánico y un detalle de sus partes constitutivas se muestra en la Figura 3. En particular, todos los elementos constructivos están vinculados a través de una placa de montaje con la rigidez suficiente para soportar los esfuerzos producidos durante la transmisión de la rotación de la columna de dirección. El motor eléctrico está fijado al soporte rígidamente. El eje del motor provisto de un chavetero, se fija al embrague electromagnético. El embrague electromagnético debe estar alimentado para poder ser activado o desactivado.

Debido a su rotación, esta alimentación se proporciona a través de una banda conductora conectada a la fuente de alimentación a través de dos escobillas. El otro lado del embrague está unido a una rueda dentada que se acopla con una cadena que transmite el movimiento a la rueda dentada unida a la columna de dirección.

Por lo tanto, en conducción normal, el conductor actúa sobre el volante, el motor eléctrico está parado y el embrague está desconectado de modo que las ruedas dentadas giran, pero sin transmisión de esfuerzo.

Cuando se cambia a conducción autónoma, el embrague se activa y se conecta la rotación del motor con la rueda dentada, que transmite el movimiento a la rueda dentada unida a la columna de dirección. La orden de activación del embrague electromagnético es proporcionada por la misma unidad de control que envía órdenes al motor eléctrico. Por otro lado, en el caso de estar en modo autónomo y el conductor quiera llevar a cabo diferentes acciones de lo que el sistema está haciendo, puede hacerlo aumentando la fuerza sobre el volante de manera que supere la fuerza ejercida por el embrague electromagnético, a diferencia de otros dispositivos en los que la unión es completamente rígida, salvo en el caso de los dispositivos de accionamiento que se aprovechan de la dirección

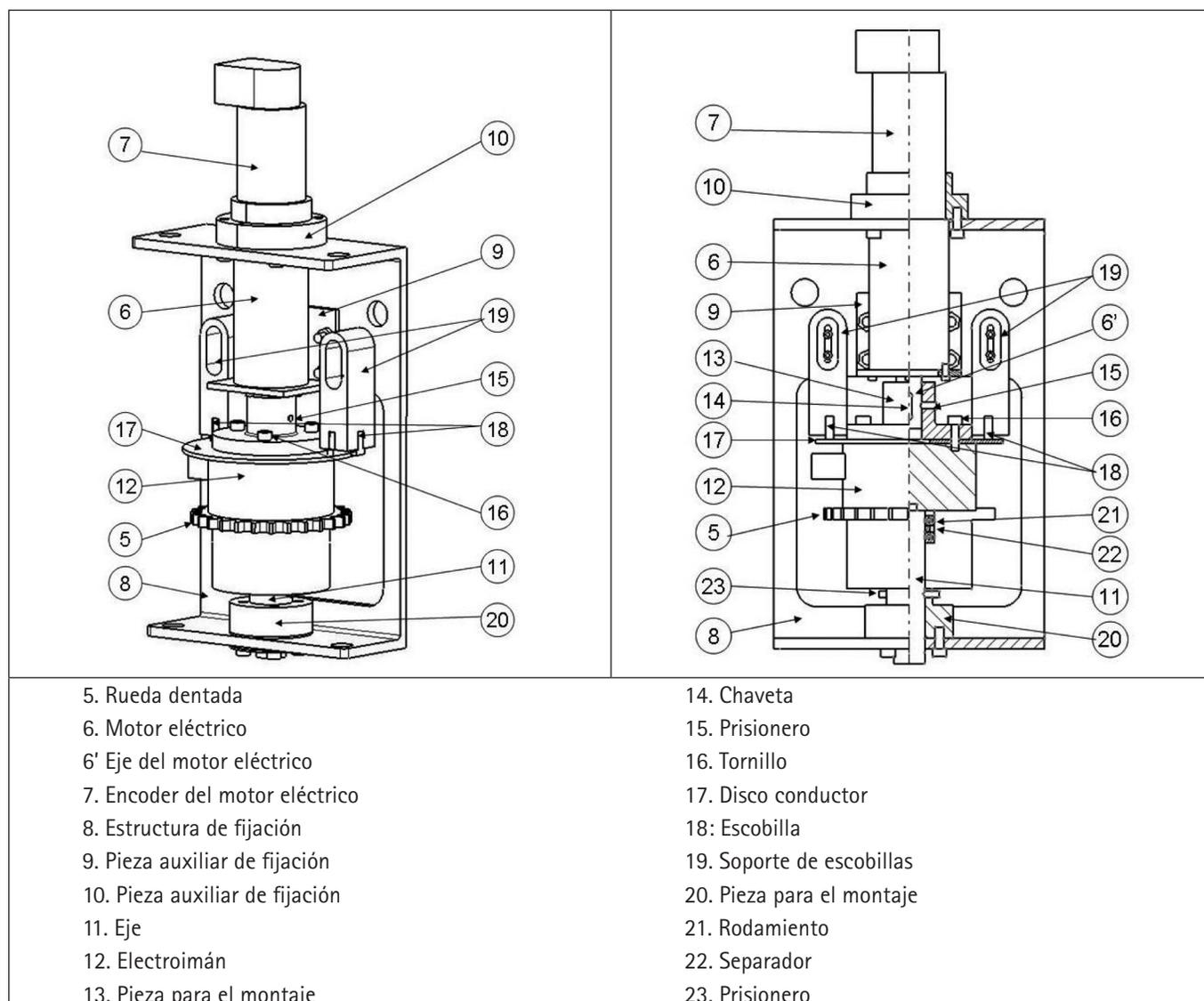


Fig. 3: Detalle de la estructura del dispositivo

asistida eléctrica. Esta característica es consistente con lo indicado por la Convención de Viena de 1968 y aún en vigor [27] en la que el conductor se considera como el único responsable para el guiado del vehículo.

El amplificador de potencia es un controlador electrónico Maxon EPOS 2 con un PID interno con el fin de gestionar el motor de corriente continua. Este controlador recibe las consignas objetivo para la dirección desde el ordenador de control de alto nivel y transforma estos comandos a señales de potencia PWM.

Por último, el ordenador de control es un microordenador donde está instalada la aplicación de control que actúa como interfaz entre el hardware y cualquier tipo de aplicación de alto nivel o sistema de asistencia que se ejecuta en una plataforma diferente. El ordenador de control actúa como una capa transparente y permite la conexión a través de una conexión de red RJ45 mediante un servidor UDP/IP. Por lo tanto, la aplicación de control recibe la consigna de giro desde la aplicación de alto nivel a través de un protocolo de comunicaciones y luego envía los comandos apropiados a la etapa de amplificador de potencia que gestiona el motor de corriente continua que gira el volante con el fin de alcanzar el objetivo especificado. Como sistema de alto nivel, se puede emplear un sistema seguidor de una trayectoria GPS, un seguidor de líneas marcadas en la carretera, un sistema de evitación de colisiones [8], etc.

### 3. RESULTADOS

El sistema ha sido instalado en un vehículo y se ha probado en la pista de ensayos del *Instituto Universitario de Investigación del Automóvil*. El objetivo de estos ensayos ha sido el verificar que el sistema se puede emplear en sistemas de asistencia y en conducción automática. Como referencia se ha tomado el sistema descrito en para direcciones asistidas eléctricamente, el cual fue probado en rangos amplios de funcionamiento, llegando a rotaciones extremas, obteniendo buenos resultados. En el caso del dispositivo propuesto, se han planteado escenarios exigentes con el fin de verificar que el sistema cumple los requisitos mínimos para maniobras que demanden alta velocidad o giros amplios. Se eligió una maniobra de cambio de carril, simulando una esquiava de un obstáculo. El primer lugar, se definieron los parámetros de la maniobra. Estos parámetros, para el controlador del sistema, se traducen en dos giros (uno en sentido horario y otro anti-

horario) y sus duraciones respectivas. Para ello, se midió la maniobra realizada por una muestra de conductores. Debido a que la agresividad en la maniobra varía en función del conductor, se verificó hasta qué punto los datos registrados eran representativos. Para ello, se recurrió a la comparación con los modelos matemáticos de maniobras de cambio de carril. Por ejemplo, en [28], la maniobra se define en base a las máximas aceleración lateral y sobreaceleración según [29]. La distancia recorrida por el vehículo durante ese cambio de carril es el producto del tiempo de maniobra por la velocidad, considerada constante, resultando la siguiente expresión:

$$D_{LC\_min1} = v \cdot T_{LC} = v \cdot \left( \frac{a_{max}}{J_{max}} + \sqrt{\left( \frac{a_{max}}{J_{max}} \right)^2 + 4 \cdot \frac{w_0}{a_{max}}} \right) \quad (1)$$

donde  $D_{LC\_min1}$  es la distancia mínima de cambio de carril;  $v$  la velocidad longitudinal;  $T_{LC}$  es el tiempo mínimo de cambio de carril;  $a_{max}$  es la aceleración lateral máxima;  $J_{max}$  es la sobreaceleración lateral máxima y  $w_0$  el desplazamiento lateral máximo durante la maniobra.

Otros trabajos en la misma línea son los incluidos en [30], donde la maniobra de cambio de carril se aproxima por una trayectoria senoidal.

$$y = A_1 + A_2 \cdot \cos(A_3 \cdot x) \quad (2)$$

En este caso, la distancia para el cambio de carril viene dado por la expresión:

$$D_{LC\_min2} = \pi \cdot v \cdot \sqrt{\frac{w_0}{2a_{max}}} \quad (3)$$

De forma análoga, los mismos autores proponen la distancia del cambio de carril si esta maniobra se modeliza según una aproximación exponencial, quedando:

$$y = A_1 + \frac{A_2}{1 + \exp(A_3 \cdot (x - A_4))} \quad (4)$$

$$D_{LC\_min3} = v \cdot \sqrt{\frac{4.142 \cdot w_0}{a_{max}}} \quad (5)$$

Otros trabajos en la línea de definir controladores para desarrollar maniobras de cambios de carril durante un adelantamiento se encuentran en [31-33], entre otros.

Resultados	v=30 km/h			v=40 km/h		
	Media (m)	Desviación estándar (m)	Modelo vs. datos experimentales	Media (m)	Desviación estándar (m)	Modelo vs. datos experimentales
$D_{LC\_min1}$	13.77	-	1.70%	18.36	-	1.83%
$D_{LC\_min2}$	14.34	-	5.91%	19.12	-	6.05%
$D_{LC\_min3}$	13.14	-	-2.95%	17.52	-	-2.83%
Datos experimentales (N=5)	13.54	1.28	-	18.03	1.84	-

Tabla 1: Distancia en el cambio de carril a 30 y 40 km/h

La Tabla 1 muestra la comparación entre los resultados experimentales y la aplicación de los 3 modelos matemáticos en los ensayos a dos velocidades: 30 y 40 km/h. Se observa una buena correlación, incluso con la muestra reducida de conductores. Por lo tanto, se aceptan las medidas y, el escenario más exigente para el controlador se define a partir de los giros detectados en la maniobra más agresiva, la de menor distancia en el cambio de carril.

Teniendo en cuenta la situación más agresiva, la Figura 4 muestra el ángulo de dirección real, tomado como referencia para la maniobra evasiva a 40 km/h, la maniobra objetivo introducida en el sistema de control y la maniobra que finalmente lleva a cabo. Como puede verse, el sistema reproduce fielmente el comportamiento humano tomado como referencia, y es capaz de realizar una maniobra agresiva de gran amplitud en un tiempo bastante corto. Por otro lado, hay que señalar que existe un pico de rotación del volante por encima del objetivo. Este pico es debido al deslizamiento del electroimán cuando el motor eléctrico se detiene bruscamente. En este caso, incluso cuando se detecta una sobreamplitud del 11,8%, se corrige en sólo 0,3 s, que es insignificante desde el exterior y no afecta al comportamiento esperado del vehículo. Estos son los valores más desfavorables y la velocidad de rotación efectiva del volante es superior a 90 °/s, por lo que el sistema cumple con los requisitos establecidos en [34].

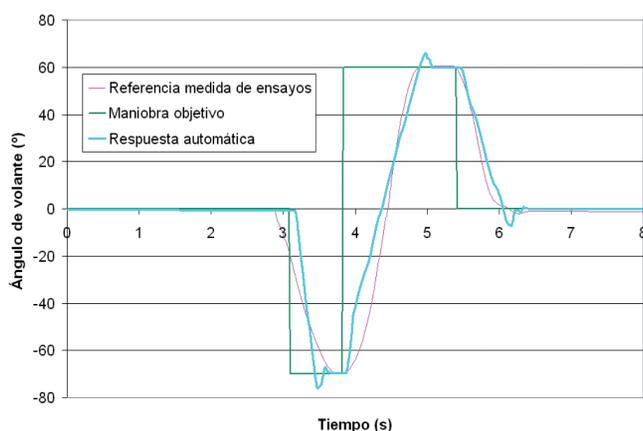


Fig. 4: Giro de volante durante la maniobra de cambio de carril

Según las pruebas, el sistema descrito es capaz de reproducir la maniobra evasiva más agresiva que se ha tomado como referencia. Por lo tanto, se estima que su comportamiento será apropiado cuando se exijan maniobras más suaves y pueden ofrecer las mismas ventajas en términos de tiempo y forma de respuesta que el sistema presentado en [23].

#### 4. CONCLUSIONES

El dispositivo presentado se puede montar en cualquier modelo de vehículo (turismo o vehículo industrial), simplemente cambiando la parte de la adaptación de la columna de dirección, a diferencia de los dispositivos orientados sólo a los vehículos con dirección asistida eléctrica. Sin embargo,

aunque los dispositivos para ser instalados en vehículos con asistencia hidráulica pueden tener la misma característica de universalidad, son superados por el dispositivo que aquí se presenta, ya que permite el acoplamiento o desacoplamiento de forma automática durante la conducción, sin necesidad de acciones manuales como con las otras invenciones mencionadas anteriormente, y sin tener que detener el vehículo. Además, estos dispositivos para vehículos con dirección asistida hidráulica tienen, por lo general, una conexión mecánica entre el actuador y la columna, que impide que el conductor oponga resistencia a las acciones del sistema, si así lo deseara, mientras que el sistema esté activo. Este hecho no se produce en los dispositivos que se aprovechan de la asistencia eléctrica. El aparato descrito permite que el conductor tome el control mediante el ejercicio de una fuerza mayor de lo habitual con el fin de hacer que deslice el electroimán y pierda la unión, ya que no es rígida. Es decir, el aparato descrito combina las ventajas inherentes de soluciones con un propósito similar que están orientados a vehículos con dirección asistida hidráulica o eléctrica, y supera las limitaciones de cada uno. Por otro lado, no es comparable a los robots de conducción, ya que éstos impiden el funcionamiento normal del vehículo por el conductor, ni a soluciones de dirección por cable (*steer-by-wire*) [35-38], ya que eliminan la columna de dirección.

El alcance del dispositivo abarca principalmente dos tipos de sistemas: sistemas de asistencia al conductor y sistemas de conducción automática. En el primer caso, un ejemplo es un sistema de evitación de colisión de modo que, una vez que se ha detectado un obstáculo, el sistema es capaz de modificar la trayectoria en condiciones de seguridad. En este tipo de solución, en un principio, el conductor actúa sobre el volante, pedales y palanca de cambios. En un momento determinado, la unidad de control detecta un peligro y decide que se requiere una acción evasiva. En ese caso, se envía un comando al relé de conmutación, activando el electroimán y se vincula la rotación del motor eléctrico con la columna de dirección sin ningún requisito sobre la posición del sistema de dirección (alineamiento, estacionario, etc). Además, este vínculo no es rígido y permite al conductor contrarrestar la acción, si así lo desea. Una vez superado el peligro, el sistema devuelve el control del vehículo al conductor simplemente desactivando el electroimán.

El segundo caso se refiere a la aplicación de los sistemas de conducción autónoma [39]. Estos sistemas pueden sustituir la conducción manual durante todo el trayecto, comenzando y terminando en la situación del vehículo parado. Esto se podría lograr con otros dispositivos, pero con el mecanismo descrito, el conductor puede delegar el control del vehículo en cualquier momento para completar una parte de la ruta. El control se determina por las señales que recibe la ECU del vehículo o incluso de señales externas al vehículo.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (TRA2010-0225-C03-03) y por la Comunidad de Madrid a través del proyecto SEGVAUTO-II (S2009/DPI-1509)

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Rumar K. "Man – the weak link in road traffic". *International Journal of Vehicle Design*. 1983. Vol 4-2, p 195-204
- [2] Kato S, Minobe N, Tsugawa S. "Driver-adaptive driver assistance system based on precise navigation, environment sensing and driver monitoring: system proposal and experiments". En *Actas del FISITA World Automotive Congress*, Barcelona, 23-27 Mayo 2004
- [3] Naranjo JE, Sotelo MA, Gonzalez C, et al. "Using fuzzy logic in automated vehicle control", *IEEE Intelligent Systems*, 2007. Vol 22-1, p.36-45. DOI:10.1109/MIS.2007.18
- [4] Endo T, Iwazaki K, Tanaka Y. "Development of reverse parking assist with automatic steering" En *Actas del 10th World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services*, Madrid, 16 – 20 Noviembre 2003
- [5] Hahn S, Regensburger U, Schmid E. *Procedimiento y dispositivo para conducir un vehículo automóvil hacia una posición de destino*. Patente ES2269536 (T3). 2001-04-09
- [6] Rajamani R, Tan HS; Law BK, et al. "Demonstration of integrated Longitudinal and Lateral Control for the Operation of Automated Vehicles in Platoons", *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2000, Vol. 8-4, p 695-708. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/87.852914>
- [7] García R, Naranjo JE, de Pedro T, González C. *Dispositivo y procedimiento útil para el control de un automóvil, con ayuda de GPS y comunicaciones inalámbricas, que permite efectuar adelantamientos*. Patente WO2008/110654 A1. 2010-03-05
- [8] Jiménez F, Naranjo JE, Gómez O. "Autonomous Manoeuvres for Collision Avoidance on Single Carriageway Roads". *Sensors*. 2012. Vol 12-12, p 16498-16521. DOI: 10.3390/s121216498
- [9] Sala G. "Effectiveness of pre-crash system in Chameleon ". En *Actas del 10th World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services*, Madrid, 16 – 20 Noviembre 2003
- [10] Herkommer R, Begerow SU. *Sistema de bombeo con una bomba hidráulica, en particular para un sistema de dirección*. Patente ES2229111
- [11] Fukudome F. "Technical Trends regarding electric components for Electric Power Steering Systems", *Koyo Engineering journal*, 2003 vol 163E, p. 32-36
- [12] Bernede D, Georgelin V. *Procedimiento de control de un motor eléctrico de un dispositivo de asistencia de dirección de vehículo, y dispositivo de asistencia asociado*. Patente ES2337837. 2006-09-18
- [13] Kasselmann J, Keranen T. "Adaptive Steering" *Bendix Technical Journal*, 1969. vol. 2, p 26-35
- [14] Naranjo, JE, González C, García R, et al. "Power-Steering Control Architecture for Automatic Driving", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2005. vol. 6-4, p. 406-415. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TITS.2005.858622>
- [15] Naranjo JE, González C, García R, de Pedro T. "ACC+Stop&Go Maneuvers With Throttle and Brake Fuzzy Control", *IEEE transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2006, vol. 7- 2, p 213-225. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TITS.2006.874723>
- [16] Broggi A, Bertozzi M, Fascioli A, et al. "The ARGO Autonomous Vehicles Vision and Control Systems", *International Journal of Intelligent Control and Systems*, 1999, Vol. 3- 4, p 409-441
- [17] Hessburg T, Tomizuka M. "Fuzzy Logic Control for Lateral Vehicle Guidance", *IEEE Control Systems*, 1994. vol 14-4, p. 55 – 63. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/CCA.1993.348341>
- [18] Meier G, Roppenecker G, Wurmthaler C. "Automatic Lateral Vehicle Guidance Using Tracking Control", En *Actas del IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Parma, Italia, 14-17 Junio 2004
- [19] Hermann J, Von Hammel K; Starbek R, Niessen H. *Mecanismo de dirección con un sistema de engranaje epicicloidal propulsado para la producción de un par motor manual específico sobre el volante*. Patente ES2262884. 2001-12-11
- [20] Breed DS, Johnson WC, Duvall WE. *Method and system for controlling a vehicle*. US6768944 (B2). 2002-04-09
- [21] Bellmann H, Bertram T, Dominke P, Grosse C, Hermsen W, Mueller JO, Volkart A. *Motor vehicle controlling method*. Patente DE19709319 (A1). 1999-03-07
- [22] Naranjo JE, Jiménez F, Gómez O, et al. "Low level control layer definition for autonomous vehicles based on fuzzy logic". *Intelligent Automation and Soft Computing*. 2012. Vol 18-4, p. 333-348. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10798587.2012.10643247>
- [23] Cordioli S. *Dispositivo de control remoto para hacer girar el volante de dirección de un vehículo automóvil*. Patente WO9420340 (A1).
- [24] Witt G. *Robot de conducción*. Patente ES2056626 (T3). 1989-12-08
- [25] Young LS, Bok YS, Sik KM. *Car operating robot, remote car controlling apparatus, system and method*. Patente KR20110083414 (A). 2011-07-09
- [26] John Deere. *Sistemas de guiado*, 2013
- [27] United Nations: *Convention on road traffic and road signs*. Viena, Austria, Naciones Unidas, 1968
- [28] Soudbackhsh D, Eskandarian A, Moreau J. "An emergency evasive maneuver algorithm for vehicle". En *Actas del 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. Washington, 5-7 octubre 2011
- [29] Isermann R, Schorn M, Staehlin U. "Anticollision system PRORETA with automatic braking and steering". *Vehicle System Dynamics*. 2008, vol 46, p 683-694. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00423110802036968>
- [30] Durali M, Javid GA, Kasaiezadeh A. "Collision avoidance manoeuvre for an autonomous vehicle". En *Actas del 9th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control*, Estambul, 27-29 Marzo 2006
- [31] Wang F, Yang M, Yang R. "Conflict-Probability-Estimation-Based Overtaking for Intelligent Vehicles". *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2009, vol 10-2, p 366-370. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TITS.2009.2020200>
- [32] Naranjo JE, Gonzalez C, Garcia R, et al. "Lane-change fuzzy control in autonomous vehicles for the overtaking maneuver". *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2008, vol 9-3, p 438-450. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TITS.2008.922880>
- [33] Bevan G, Gollee H, O'Reilly J. "Automatic lateral emergency collision avoidance for a passenger car". *International Journal of Control*, 2007, vol 80-11, p 1751-1762. DOI: 10.1080/00207170701324271
- [34] European Commission. Directive 70/311/EEC. Steering equipment for motor vehicles and their trailers. Ginebra, European Commission, 1999
- [35] Bannatyne RT. *Electronic control systems*. EEUU. SAE 2003. 83 p.
- [36] Plankensteiner M., Silberbauer L., Seethaler C., et al. *TTA-Group Steer-by-wire working group: an initiative to set up a reference architecture for steer-by-wire in off-highway industry*. EE.UU. SAE. 2007, SAE paper 2007-01-1490
- [37] Onoda Y, Onuma Y, Goto T, et al. *Design concept and advantages of steer-by-wire system*. EE.UU. SAE. 2008, SAE paper 2008-01-0493
- [38] Haggag S, Alstrom D, Cetinkunt S, et al. "Modeling, control, and validation of an electro-hydraulic steer-by-wire system for articulated vehicle applications", *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 2005, vol 10-6, p 688 – 692. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TMECH.2005.859838>
- [39] Centro Zaragoza. *Los sistemas inteligentes de transporte*. Zaragoza: Centro Zaragoza, 2003, 236 p. ISBN: 84-96126-02-1