

Sistema de ayuda a la **conducción en curvas** para vehículos reales



Joshué Pérez-Rastelli *

Vicente Milanés-Montero *

Jorge Villagra-Serrano *

Enrique Onieva-Caracuel *

Carlos González Fernández-Vallejo *

Ingeniero en Electrónica

Ingeniero en Electrónica

Ingeniero Industrial

Ingeniero en Informática

Dr. en Informática

* AUTOPIA del Centro de Automática y Robótica (CAR). UPM-CSIC. Carretera de Campo Real, km. 0.200 - 28500 La Poveda, Arganda del Rey (Madrid). Tfno: +34 91 871 19 00.

joshue.perez@car.upm-csic.es, vicente.milanes@car.upm-csic.es;

jorge.villagra@car.upm-csic.es;enrique.onieva@car.upmcsic.es;

carlos.gonzalez@car.upm-csic.es

Recibido: 07/07/2010 • Aceptado: 15/11/2010

Driving assistance system applied in curves for real vehicles

ABSTRACT

- Decreasing the accidents on highway and urban environments is the main motivation for the research and developing of driving assistance systems, also called ADAS (Advanced Driver Assistance Systems). In recent years, there are many applications of these systems in commercial vehicles: ABS systems, Cruise Control (CC), parking assistance and warning systems (including GPS), among others. However, the implementation of driving assistance systems on the steering wheel is more limited, because of their complexity and sensitivity. This paper is focused in the development, test and implementation of a driver assistance system for controlling the steering wheel in curve zones. This system is divided in two levels: an inner control loop which permits to execute the position and speed target, softening the action over the steering wheel, and a second control outer loop (controlling for fuzzy logic) that sends the reference to the inner loop according the environment and vehicle conditions. The tests have been done in different curves and speeds. The system has been proved in a commercial vehicle with satisfactory results.
- KEYWORDS:** driving assistance system, ADAS, lateral dynamic and control, Intelligent Transportation Systems.

RESUMEN

Reducir la tasa de accidentes en carreteras y entornos urbanos es la principal motivación en la investigación y desarrollo de los sistemas de asistencia a la conducción, también conocidos como ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*). Son muchas las aplicaciones que en los últimos años se han implementado en vehículos comerciales: los sistemas de antibloqueo de frenos – conocidos como ABS (*Antilock Brake System*), Control de Crucero (CC) o ayudas para el aparcamiento, entre otras. Sin embargo, aplicaciones que involucren el control total del volante se encuentran, de momento, en fase preliminar. Este trabajo está centrado en el desarrollo, prueba e implementación de un sistema de ayuda a la conducción para el control del volante en zonas curvas. El sistema de control propuesto se divide en dos niveles: un lazo interno de control que permite ejecutar las consignas de posición y velocidad, suavizando la acción sobre el volante, y un segundo lazo externo de control (gobernado por un controlador

borroso) que envía las consignas a ejecutar según las condiciones del entorno y el vehículo. Diferentes experimentos se han llevado a cabo en curvas de distinto radio y a diferentes velocidades (dentro de entornos urbanos). El sistema ha sido embarcado en un vehículo comercial mostrando resultados satisfactorios.

Palabras Claves: sistemas de ayuda a la conducción, ADAS, control y dinámica lateral, Sistemas Inteligentes de Transporte.

1. INTRODUCCIÓN

La automatización y el control de vehículos reales, con el paso del tiempo, se está convirtiendo en una realidad cada vez más patente. Diferentes aplicaciones que antes existían sólo a nivel teórico pasan rápidamente a implementarse en vehículos comerciales. Ayudas para aparcamiento, control de velocidad, sistemas de frenada de emergencia y los diferentes desarrollos logrados en los sistemas ADAS (*Advance Driver Assistance Systems*), son algunas de las aplicaciones que los

diferentes fabricantes de vehículos han implementado y están comercializando.

Las investigaciones en los *Sistemas Inteligentes de Transporte* (ITS) están encaminadas a la mejora de la seguridad y el confort en la conducción de vehículos (Shladover, 1995). La mayoría de estas aplicaciones están enfocadas al control longitudinal (acción sobre el freno y el acelerador) (Vaa et al., 2007; Milanés et al., 2009; Onieva et al., 2010). Aunque algunas, a muy baja velocidad, toman el control del volante, pocas se encuentran disponibles en el mercado (Wu et al., 2008). Entre ellas, podemos destacar: el *aparcamiento asistido* (Hsu et al., 2008) (implementado recientemente por Mercedes-Benz) y los *sistemas de dirección asistida* (EPS o EPAS) (Burton et al., 2003), los cuales solo toman el control parcial del volante para avisar al conductor sobre situaciones de peligro.

Recientemente, se han desarrollado sistemas de prevención controlando los actuadores longitudinales en función de la distancia a la siguiente curva (Lusetti et al., 2008). Son conocidos como sistema de prevención en curvas (CWS, *curve warning system*), y obtienen la información desde mapas cartográfico digitales y un GPS instalado en el vehículo. Por otra parte, los asistentes de velocidad inteligentes (ISA, *intelligent speed assistance*) alertan al conductor cuando la velocidad a la que circula no es la apropiada (Van, 2008). Para poder aprovechar el potencial que proporcionan las tecnologías modernas sobre los entornos de conducción, algunas investigaciones se centran en la definición de especificaciones de los mapas electrónicos y sistemas de posicionamiento con la finalidad de aplicarlos en sistemas ADAS (Jiménez et al., 2009). Finalmente, diferentes estrategias para el control longitudinal, reduciendo el exceso de velocidad por parte de los conductores y la detección de cruces de peatones e intersecciones, están

siendo desarrolladas utilizando información proveniente de la infraestructura, a través de una red de sensores *Zigbee* (Milanés et al. 2010).

La escasa implantación comercial del control lateral se debe, en parte, a las fatales consecuencias que implican cambios bruscos en el volante, dejando al conductor sin tiempo para reaccionar y tomar el control. Por ello existe la necesidad latente de desarrollar un ADAS para, en situaciones de posible colisión, ayudar al conductor en tramos curvos. Este sistema no puede limitarse solo al control de posición sobre el volante (Hayakawa et al., 2004; Naranjo et al., 2005), también es necesario un control suave y seguro, que considere la velocidad angular del volante como parámetro de control.

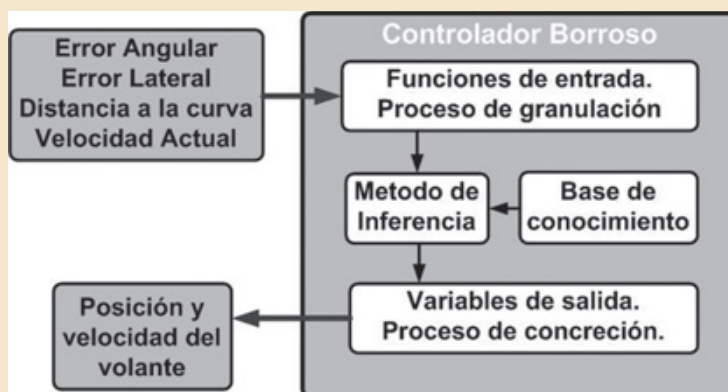
El problema del seguimiento de trayectorias está ya solventado (Ackermann et al., 1999) y los esfuerzos se centran en hacer un control más confortable y confiable.

Un gran avance en el control lateral de vehículos es el uso de la dirección EPS (*Electric Power-Assisted Steering*), reemplazando a los clásicos sistemas hidráulicos HPS (*Hydraulic Power Steering*). Varias simulaciones con estos nuevos sistemas se presentan en (Chen et al., 2008). Yih y Gerdes (Yih et al., 2005), de la *Universidad de Stanford*, utilizaron el modelo de la bicicleta de *Ackermann* y una estimación real de su vehículo para cancelar el error en el control del volante ocasionado por la dinámica del sistema y la interacción del neumático con el suelo. Otras aplicaciones en *Sistemas Automatizados en Carreteras* (AHSs) consideran el control lateral de vehículos pesados (Tai et al. 2004).

En el mundo del control existe una brecha entre el control de sistemas dinámicos en simulación y la implementación de controladores en sistemas reales. Esta brecha está reduciéndose progresivamente, a pesar de que el nivel de complejidad de ciertos sistemas es un inconveniente para

CONTROLADOR BORROSO

A diferencia de la lógica clásica que contempla 2 posibles valores (verdadero o falso), en la lógica borrosa, un controlador borroso (o controlador difuso, por su traducción del inglés: *Fuzzy Logic Controller*, (de Pedro, 2007)) está compuesto por un conjunto de reglas lingüísticas que tienen como antecedentes los valores posibles de las entradas, y



que concluyen la acción a efectuar en términos también lingüísticos, la cual permite escribir las reglas en un lenguaje casi natural. En la parte central de la figura se puede apreciar el conjunto de reglas para el control de posición y control de velocidad del volante. La fusión de ambos conjuntos de reglas en un mismo controlador permite que el volante tenga un comportamiento suave y seguro, en función de las condiciones del entorno.

Estructura del controlador Borroso implementado

reducirla. Por este motivo, el control inteligente es una buena alternativa para el control de sistemas complejos, en este caso, vehículos reales. Además, algunos estudios comparan sistemas inteligentes y clásicos de control aplicados a vehículos autónomos (Chaib et al., 2004), encontrando mejoras considerables usando el control borroso. Sin embargo, muchas aplicaciones demuestran que un PID puede ser la mejor alternativa en cambios de referencia, rapidez y estabilidad en sistemas de gran complejidad (Ogata, 1998). El presente trabajo pretende mostrar las ventajas de fusionar ambas técnicas para la realización de maniobras de ayuda a la conducción en vehículo reales.

Utilizando las ventajas de las técnicas de control clásico (PID) y la experiencia del programa AUTOPIA, del *Centro de Automática y Robótica* (CAR, UPM-CSIC), en conducción autónoma de vehículos utilizando controladores borrosos, el objetivo principal de este trabajo es presentar un ADAS para el control de un vehículo en tramos curvos que permita evitar accidentes cuando el conductor descuide la atención al volante.

En el siguiente apartado, descripción del sistema, se mencionan y explican cada una de las partes que conforman el sistema, los requisitos de diseño utilizados y el control en cascada propuesto. Más adelante, en los apartados del lazo interno y el lazo externo de control, se explicarán el controlador PID y el *controlador borroso* utilizados para la maniobra de ayuda a la conducción. En la sección de experimentos se describen las pruebas, a diferentes velocidades y con curvas de poco y gran radio. Finalmente, se presenta una discusión sobre los resultados obtenidos y las posibles mejoras a realizar en trabajos futuros.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Los experimentos presentados en este trabajo se realizaron utilizando una furgoneta eléctrica, modelo *Citroën Berlingo* eléctricas, cuyos actuadores han sido automatizados para permitir una conducción autónoma (Naranjo et al, 2005). Para el control del freno se ha instalado una bomba hidráulica

(Milanés et al., 2009). La arquitectura ha sido modificada, incrementando su modularidad y permitiendo la inclusión de nuevos sensores (Pérez et al., 2009a) de forma confiable y sencilla. En la Fig. 1 se muestra la arquitectura general de las furgonetas.

La arquitectura para el control lateral que se presenta en este trabajo es tipo maestro-esclavo, donde el maestro (alto nivel) en un controlador borroso, que envía las consignas de posición y velocidad al bajo nivel, que en nuestro caso es un PID comercial. Éste ejecuta las consignas recibidas desde el control borroso, que se calculan a su vez en un ordenado embarcado en el vehículo. En la siguiente sección se explicará el análisis hecho para sintonizar y estimar el sistema de ayuda a la conducción en curvas.

2.1. REQUISITOS DE DISEÑO DEL VOLANTE

La implementación de un control de posición y velocidad debe realizarse estimando los parámetros a los que está sujeto el sistema. Para ello y como requisito de diseño, hemos establecido que el volante debe girar a una velocidad máxima de 180 grados/segundo (30rpm). En otras palabras, el giro completo desde el extremo izquierdo al extremo derecho del volante se realizará en 6 segundos, (entre -540 grados y +540 grados).

Las furgonetas cuentan con un sistema hidráulico (HPS) para disminuir la fuerza mecánica sobre el volante del vehículo, por lo que el control se realiza actuando directamente sobre un motor DC acoplado, a través de engranajes, a la columna de dirección (Pérez et al., 2009a).

La relación entre los engranajes de la columna de dirección y el motor fue re-diseñada (mejorando la implementación física usada anteriormente por el programa AUTOPIA) con el fin de aumentar la velocidad de giro del volante y disminuir el par en el motor. Los detalles referentes a la implementación descrita en este trabajo se encuentran en (Pérez, 2009b).

En la Fig. 2 se muestra el motor utilizado (con la pieza de acople, el codificador y el reductor), los engranajes instalados (entre el motor y la columna de dirección) y el controlador descrito.

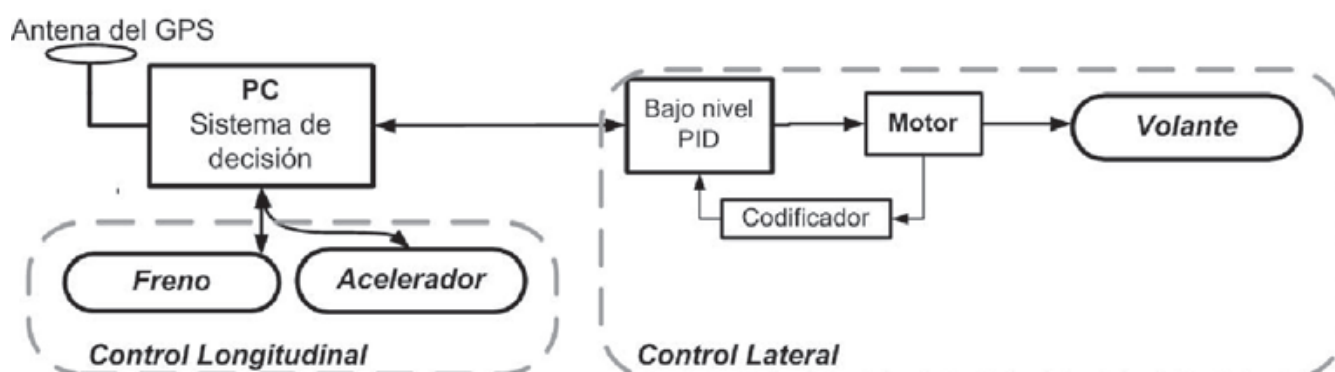


Fig. 1: Arquitectura general del vehículo



Fig. 2: Motor, relación de engranajes y controlador

2.2. CONTROL EN CASCADA

Para el control lateral del vehículo se ha utilizado una arquitectura en cascada. El lazo externo de control es un controlador borroso que emula al conductor humano y cierra el bucle de control con la señal proveniente del GPS y el tacómetro del vehículo. El lazo interno de control está gobernado por un PID discreto, el cual recibe la consigna desde el controlador borroso y lleva al volante hasta ella lo más rápida y suavemente posible.

La utilización de un control en cascada, aunando el control inteligente y el control clásico, presenta múltiples ventajas, ya que se puede extraer lo mejor de cada técnica de control. La frecuencia del lazo interno debe ser mayor que la del externo, para que pueda corregir las perturbaciones antes de que afecten al control primario. Otra ventaja es que el control interno puede autocorregirse si cambia la ganancia estática del sistema. Así el PID actúa como regulador de cambios bruscos y repentinos por parte del controlador borroso (Fig. 1).

Muchas aplicaciones industriales utilizan sistemas de control en cascada, aunque éstas utilizan principalmente controladores PID en ambos niveles de control y la mayoría tienen variables de control muy lentas (como la temperatura). Sistemas de aire acondicionado y calderas de vapor son algunas de las más comunes (Keming et al., 2007; Jiang et al., 2008). Las técnicas de sintonía que se usan en ambos casos son sencillas e intuitivas.

En nuestro caso, el PID forma el lazo interno de control cuyo tiempo de ciclo es de 10 ms, veinte veces más rápido que el lazo externo que va a la frecuencia del GPS (200 ms), para que puedan apreciarse sus efectos en el sistema. Por otra parte, el PID es un bucle esclavo del bucle primario (control borroso). Una secuencia intuitiva de sintonización del sistema es la siguiente: 1) sintonizar el PID con el lazo del controlador borroso abierto, 2) cerrar el bucle de control y sintonizar los parámetros del borroso. Finalmente, si es necesario, se ajustan las variables del lazo interno.

2.3. LAZO INTERNO DE CONTROL

El lazo interno o bajo nivel de control recibe la referencia a la cual debe moverse el volante desde el controlador de alto nivel. Éste lleva la señal de referencia al motor conectado al volante a través de un PWM que controla los transistores del puente H del controlador. Este dispositivo de control cuenta con un PID discreto, de tipo no interactivo. La aplicación presentada en este trabajo utiliza el modo de posición (*Position control mode*), el cual permite generar perfiles de trayectoria del tipo LSPB (*Linear Segments with Parabolic Blends*). Antes de configurar las ganancias del controlador es necesario hacer una estimación del sistema.

En la Fig. 3 se muestra un diagrama del sistema interno de control del dispositivo del bajo nivel que incluye las variables de entrada, variables pre-configurables, ganancias del PID, generador de trayectoria y puente H, entre otros. La estimación del sistema se lleva a cabo usando el método de lazo abierto (Milanés et al., 2009).

Además de las ganancias, es necesario realizar una

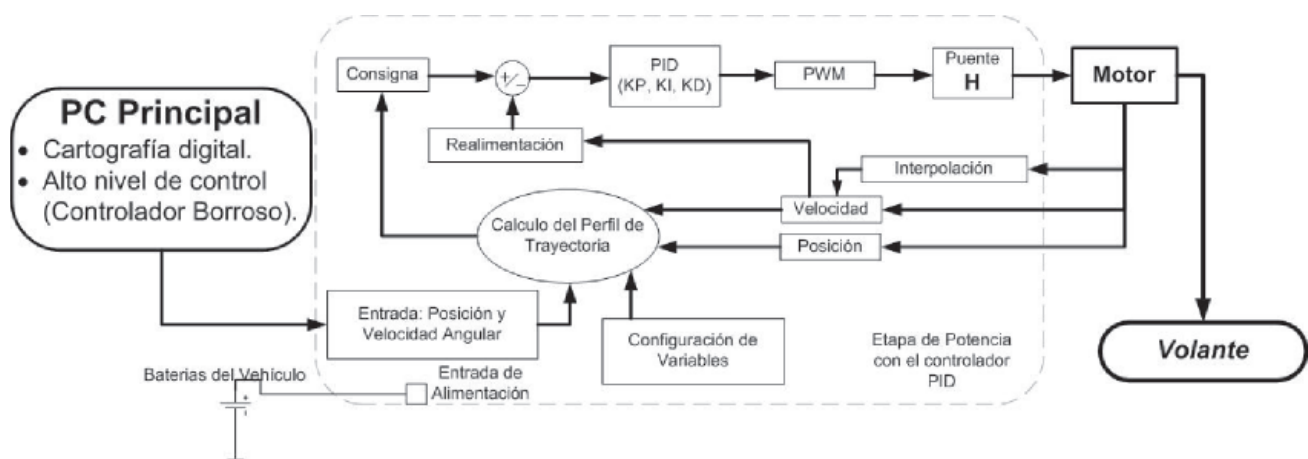


Fig. 3: Electrónica de potencia para el sistema de ayuda en curvas

estimación de los parámetros del perfil de trayectoria del controlador de bajo nivel. Se debe considerar la posición, la velocidad y el tiempo que dura el perfil. En nuestra aplicación generamos perfiles de trayectoria LSPB en el ciclo interno de control. Estas trayectorias son sencillas e intuitivas de estimar, sin embargo, las características inerciales que tiene el motor acoplado a la columna de dirección, hacen que en nuestro sistema no se perciba con detalle las rampas de desaceleración.

El controlador PID utiliza dos grupos de variables para generar la referencia: variables dinámicas y variables predefinidas. Las primeras son la posición y la velocidad real del motor, leídas desde el codificador, y la posición y la velocidad deseadas, que en nuestro caso son entregadas por el controlador borroso. Las segundas variables son la zona muerta (*Dead-zone*), la máxima aceleración, desaceleración y el tiempo del bucle de control.

El objetivo final para el lazo interno de control es lograr un control continuo, suave y seguro del volante hasta alcanzar los valores de velocidad y posición angular establecidos por el control de alto nivel.

2.4. LAZO EXTERNO DE CONTROL

El control de alto nivel o control externo lo gobierna un controlador borroso. El ciclo de control lo cierran los datos provenientes del GPS y la velocidad leída directamente del tacómetro. Este controlador envía la posición a donde debe llegar el volante y la velocidad a la que el bajo nivel debe mover el motor.

El bucle de control tiene una frecuencia de 5 Hz, que está definida por el GPS. El controlador borroso utiliza cuatro variables de entrada: *error angular*, *error lateral*, *distancia a la curva* y *velocidad real*.

El *error angular* es el ángulo entre la dirección del vehículo y la trayectoria predefinida medida en grados. El *error lateral* es la distancia en metros desde la proyección en el suelo de un punto determinado del vehículo y la trayectoria predefinida. La *distancia a la curva* se estima utilizando la posición real del vehículo y el comienzo de la próxima

curva. Por último, la *velocidad real* proviene del tacómetro del vehículo, y esta medida en kilómetros por hora (km/h) (Fig. 12).

3. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

El sistema de ayuda en curvas se activa cuando el vehículo se acerca a la siguiente curva, y el conductor aún no haya mostrado indicios de mover el volante. Una vez que sistema está activado, el conductor no podrá actuar sobre el volante hasta que se encuentre, otra vez, en un tramo recto.

Algunas investigaciones han estimado el tiempo (promedio) de reacción de un conductor en 1,5 segundos (Tatchikou, 2009). Estudios más recientes muestran distribuciones probabilísticas que van entre 0.75 hasta 2.6 segundos (Fukuoka, 2009). Sin embargo, los tiempos de reacción de los conductores dependen de muchos factores (edad, nivel de fatiga, condiciones climáticas, etc.) que escapan del alcance de esta investigación. Por eso para este trabajo se ha estipulado que la distancia máxima a la cual el sistema puede activarse está establecida en 17 metros, ya que para las velocidades urbanas consideradas en este trabajo tenemos: a 24 km/h (6,66 m/s) obtenemos un tiempo hasta llegar a la curva de 2,55 segundos. Este ya supera el umbral de reacción de un conductor promedio considerado en trabajos anteriores.

Efectivamente, este valor sería dinámico en un mayor ámbito de aplicación, ya que en función de autopistas (velocidad máxima 120 km/h), carreteras nacionales (velocidades de 100 y 90 km/h) o conducción urbana (desde 20 km/h para zonas escolares hasta 50 km/h) los límites de velocidad varían. La motivación para fijar este valor se debe a las limitaciones de nuestro circuito de pruebas. Esta distancia es sólo el valor máximo de activación, ya que como se muestra en la Fig. 4, si la curva está más cercana (la recta es muy corta), el sistema se activará antes.

Para validar el sistema, se llevaron a cabo diversos experimentos utilizando curvas de diferente radio y distintas

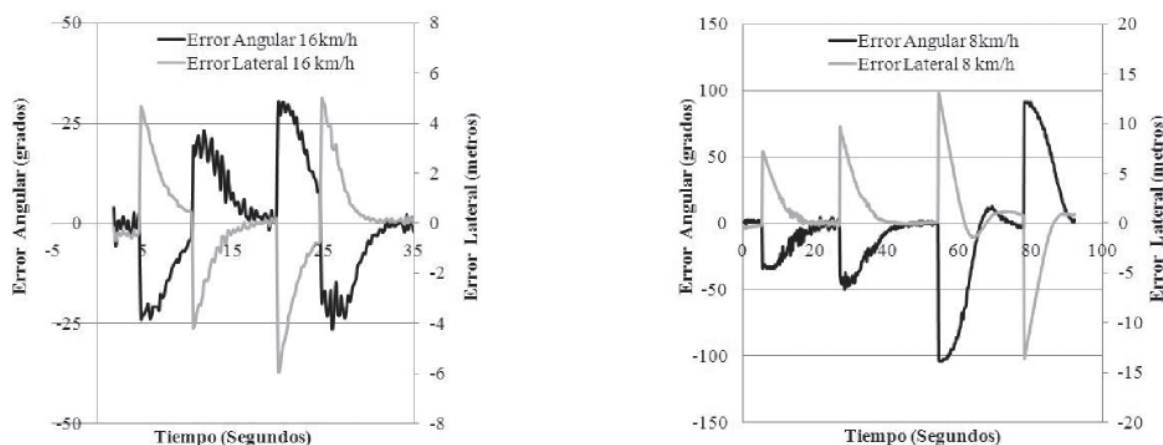


Fig. 4: Variables de entrada del controlador borroso de posición. A 16 km/h para curvas de poco radio. A 8 km/h para curvas de mayor radio

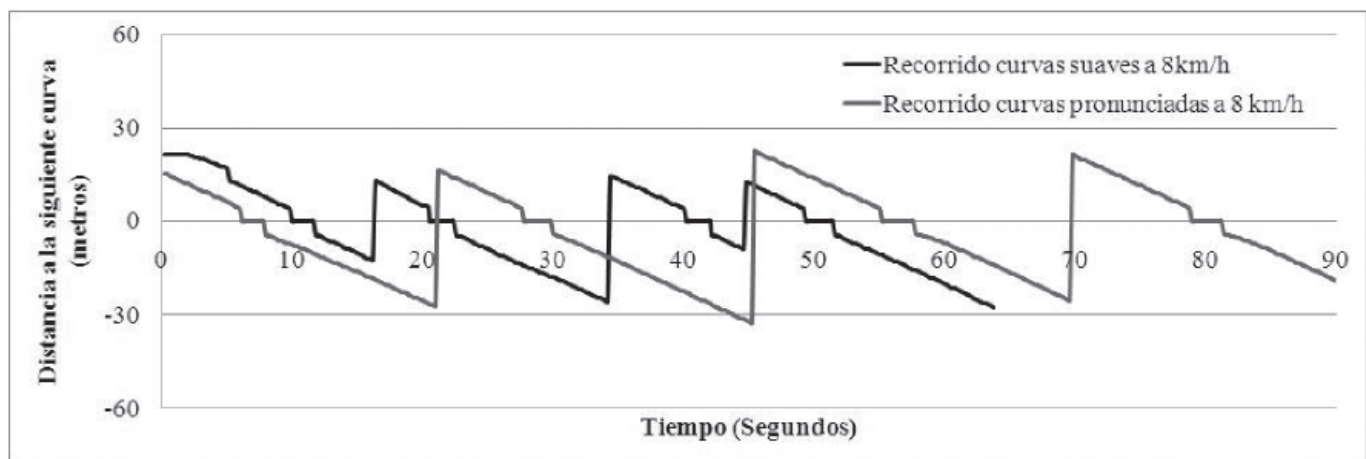


Fig. 5: Distancia a la próxima curva

velocidades de circulación. Con el objetivo de evaluar el sistema de forma independiente, no se permitió la acción automática sobre los pedales de acelerador y freno, dejando la velocidad fija en cada experimento, para de esta manera, comprobar la capacidad de adaptación del sistema a distintas velocidades. A continuación, se muestran los resultados obtenidos en dos tipos de curvas a tres velocidades distintas.

3.1. VARIABLES DE ENTRADA

Las velocidades a las cuales se realizaron los experimentos son 8, 16 y 24 km/h. La velocidad longitudinal del vehículo se utiliza como variable de entrada del controlador. El resto de variables de entrada no son directamente dependientes de la velocidad, por lo que sus formas son similares a diferentes velocidades. Como dichas variables dependen de las características de las pistas, se presentan en este apartado antes de mostrar los experimentos.

La Fig. 4 muestra las variables de entrada del controlador de posición para la ayuda del volante en curvas. La parte derecha muestra el error angular y error lateral para recorrido con curvas poco pronunciadas (de 21 a 28 grados), mientras

que el lado izquierdo muestra las mismas variables para recorrido de curvas más exigentes (de 45 hasta 110 grados).

La Fig. 5 muestra la evolución de la distancia a la próxima curva (medida en metros). Esta variable junto con la velocidad real, cierran el ciclo de control que determina la velocidad angular, una vez el control de ayuda en las curvas se ha activado. Cuando la distancia a la curva es menor que 4 metros, quiere decir que el vehículo se encuentra dentro de la curvas, teniendo en cuenta las dimensiones del mismo. Los valores negativos de la distancia indican que se ha sobrepasado una curva, la lectura de la siguiente curva se hace justo en la mitad de las rectas que las separa. La otra variable de control es la velocidad real del vehículo, la cual se encuentra en control de cruce, con las velocidades fijas en 8, 16 y 24 km/h respectivamente.

3.2. EXPERIMENTOS CON CURVAS DE MUCHO RADIO

En esta primera fase de pruebas y verificación del sistema se ha seleccionado un circuito con 4 curvas poco pronunciadas, dos a la derecha y dos a la izquierda. La Fig. 6 muestra la referencia del camino, en coordenadas UTM, que

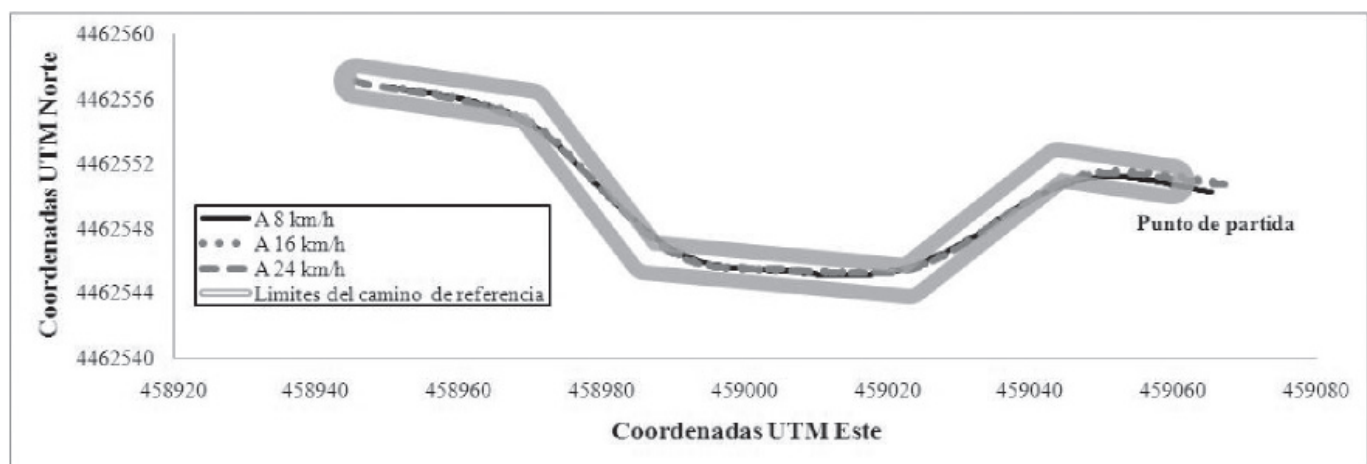


Fig. 6: Recorrido con curvas de poco radio de curvatura

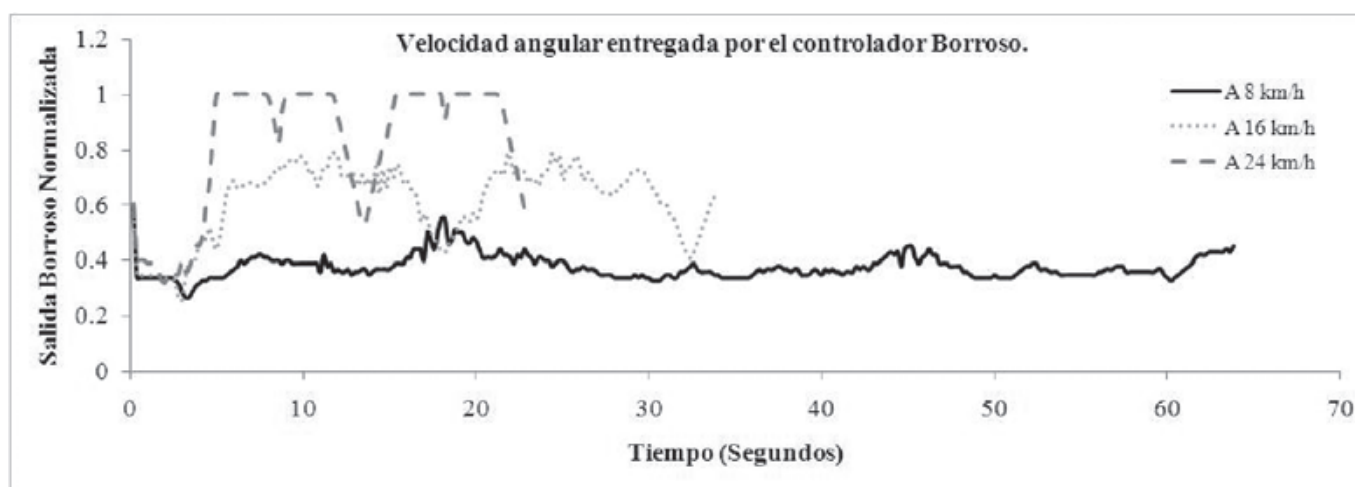


Fig. 7: La velocidad angular dada por el controlador en curvas poco pronunciadas

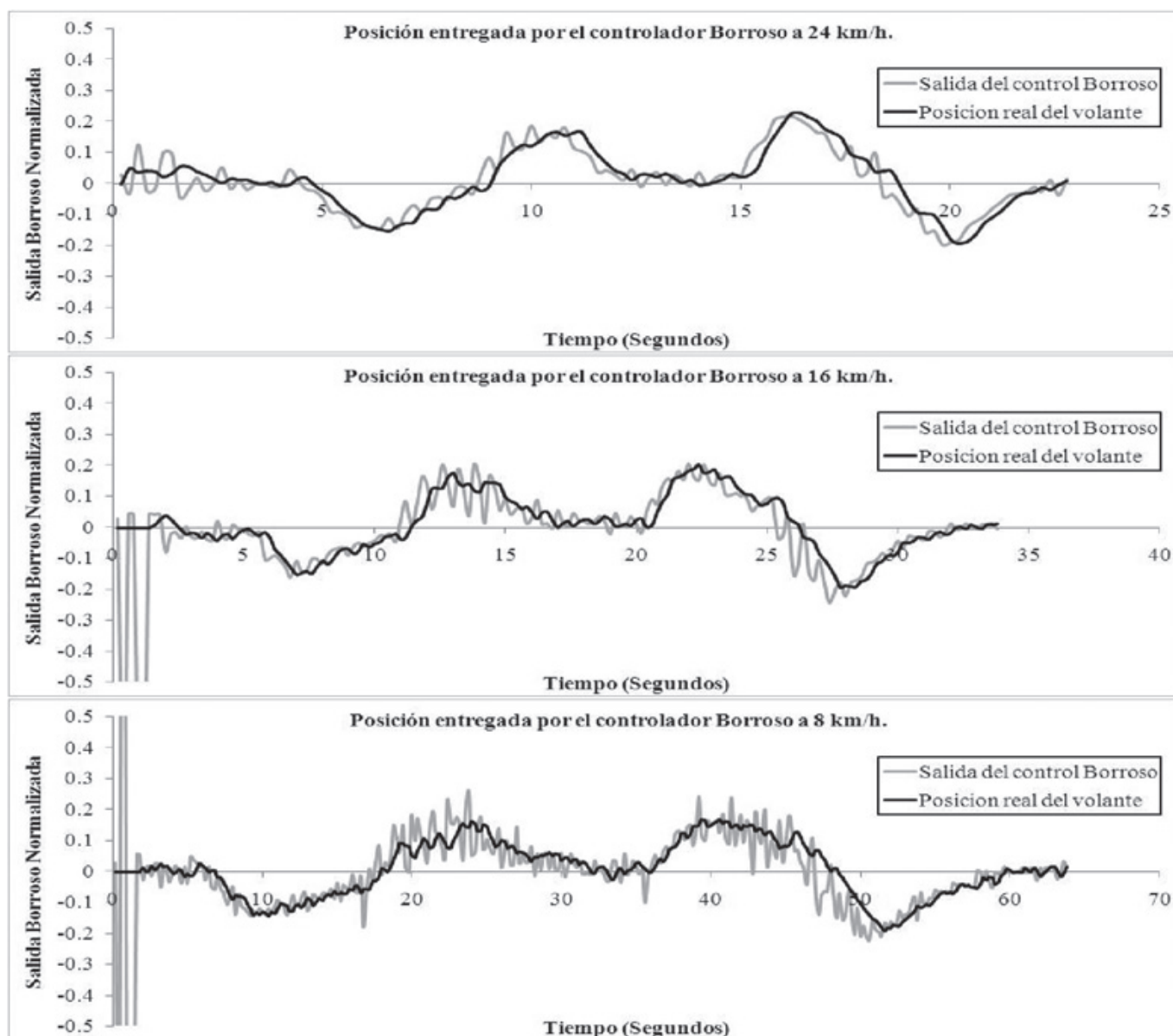


Fig. 8: Salida del controlador para la posición del volante en curvas poco pronunciadas

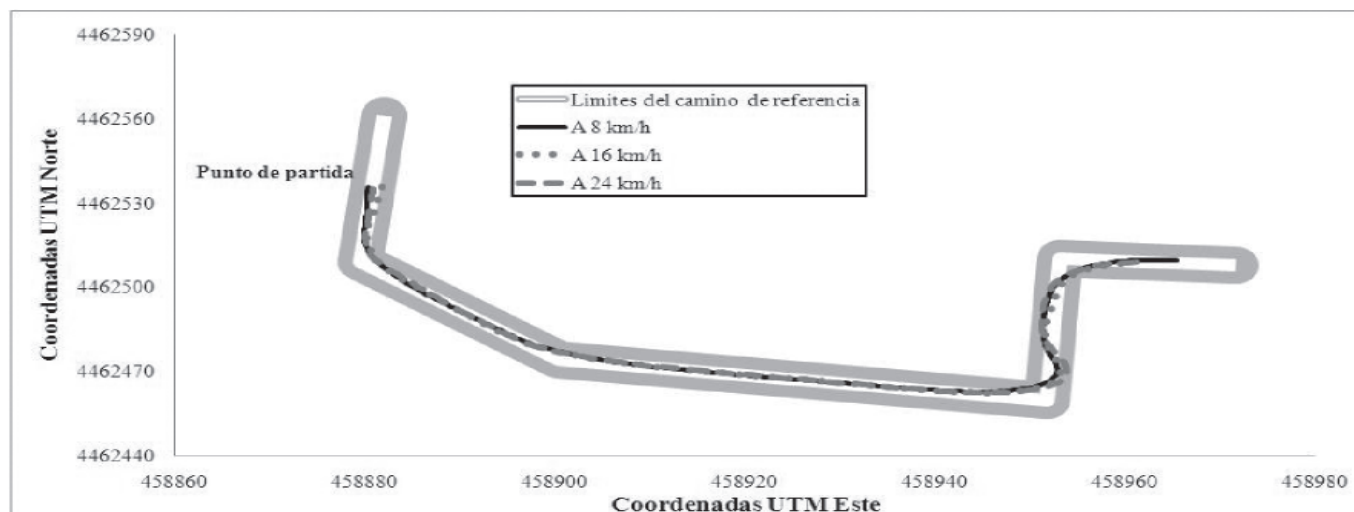


Fig. 9: Recorrido con curvas de mayor radio de curvatura

el vehículo debe seguir. Podemos observar como el vehículo, con las 3 velocidades diferentes (8, 16 y 24 km/h), nunca se sale del camino de referencia, gracias a que el sistema de ayuda a las curvas se activa. La distancia a la que el sistema se activa depende del radio de la siguiente curva y la velocidad a la que vaya el vehículo. En la Fig. 4 se observa como el error lateral, en función del siguiente tramo, es diferente para cada caso.

La Fig. 7 muestra la salida del controlador de velocidad en función de las distintas velocidades a la que el vehículo circula. Se observa que el rango de acción del controlador crece a medida que la velocidad es mayor. Esto tiene sentido, ya que un conductor humano mueve el volante suavemente si éste se mueve a poca velocidad, y de forma más rápida si la velocidad del coche es mayor.

Podemos observar en la Fig. 10 como el controlador de alto nivel entrega una salida más ruidosa cuando éste circula a poca velocidad (8 km/h), mientras que mejora cuando el

vehículo aumenta su velocidad. Esto se debe al cálculo de las variables de entradas con los puntos del GPS, al estar más cerca, el error es mayor. Sin embargo, el PID del lazo interno de control se encarga de amortiguar esta señal, evitando los saltos en el volante durante la ejecución de la maniobra.

3.3. EXPERIMENTOS CON CURVAS CON POCO RADIO DE CURVATURA

Los últimos experimentos realizados utilizan curvas más pronunciadas, incluyendo convencionales de 90 grados. El recorrido seleccionado se muestra en la Fig. 9, donde también observamos los recorridos del vehículo a las velocidades establecidas. Quizás el mayor problema lo presenta la penúltima curva, por ser la más pronunciada (con 110 grados), a 24 km/h. Con una mejor estimación del punto de activación del sistema de ayuda a las curvas podría solventarse este inconveniente. Aunque, de igual forma, el vehículo nunca abandona la carretera, que es el objetivo

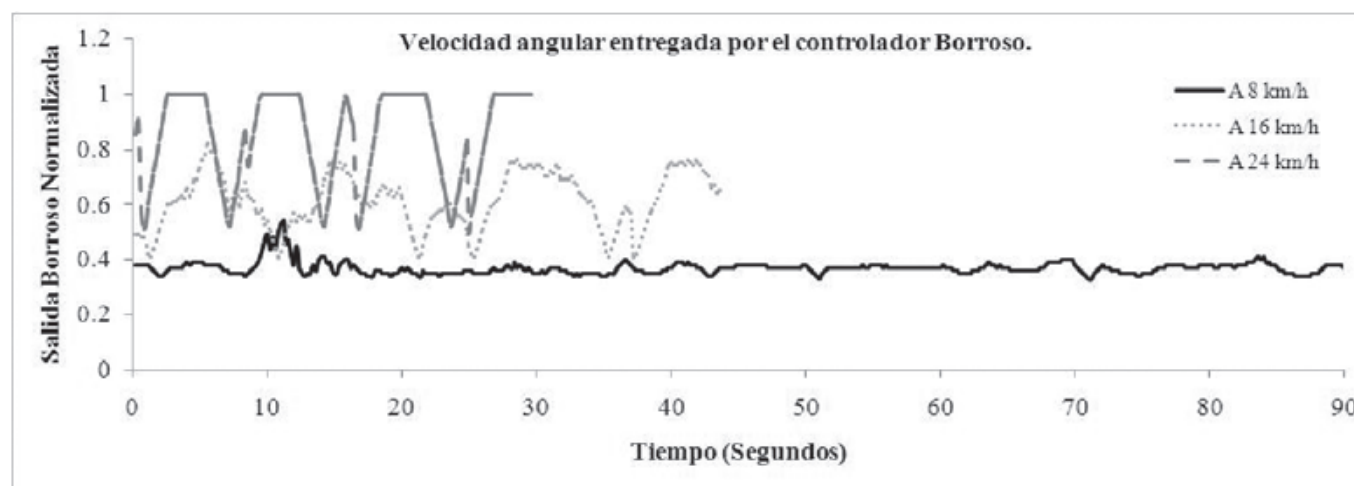


Fig. 10: Velocidad angular dada por el controlador en curvas más pronunciadas

más importante que persigue el sistema implementado, garantizándose así la seguridad del conductor y las personas abordo.

Análogamente a los experimentos realizados con curvas poco pronunciadas, la Fig. 10 y la Fig. 11 muestran el comportamiento del controlador para curvas de mayor radio a las velocidades seleccionadas. Es importante observar el comportamiento del controlador cuando éste toma curvas más pronunciadas. La grafica gris de la Fig. 11 muestra la salida del controlador de alto nivel, mientras que la grafica negra muestra la posición real que lee desde el codificador del volante. Podemos observar el retraso que presenta el sistema de control de bajo nivel por factores como la dinámica del sistema de dirección o de los neumáticos. En este caso, la acción del PID es de mucha importancia ya que amortigua las oscilaciones que pueda enviar el sistema de alto nivel.

4. DISCUSIÓN

El sistema de ayuda en las curvas propuesto en este trabajo presenta excelentes resultados para un amplio rango de curvaturas (entre 21° a 110°) y distintas velocidades (de 8 a 24 km/h). El sistema se basa en una arquitectura de control en cascada, utilizando técnicas de control clásicas e inteligentes.

En el lazo interno de control se han logrado amortiguar los constantes cambios de consigna que el controlador borroso envía al volante a baja velocidad. Estos cambios bruscos, se deben a imprecisiones en el cálculo del error angular y pueden subsanarse utilizando otro tipo de sensores en entrada, como brújulas electrónicas e incluso unidades inerciales. Esto queda propuesto como parte de los trabajos futuros para la mejora de la arquitectura y control presentados.

Este nuevo sistema de ayuda a la conducción, supone un

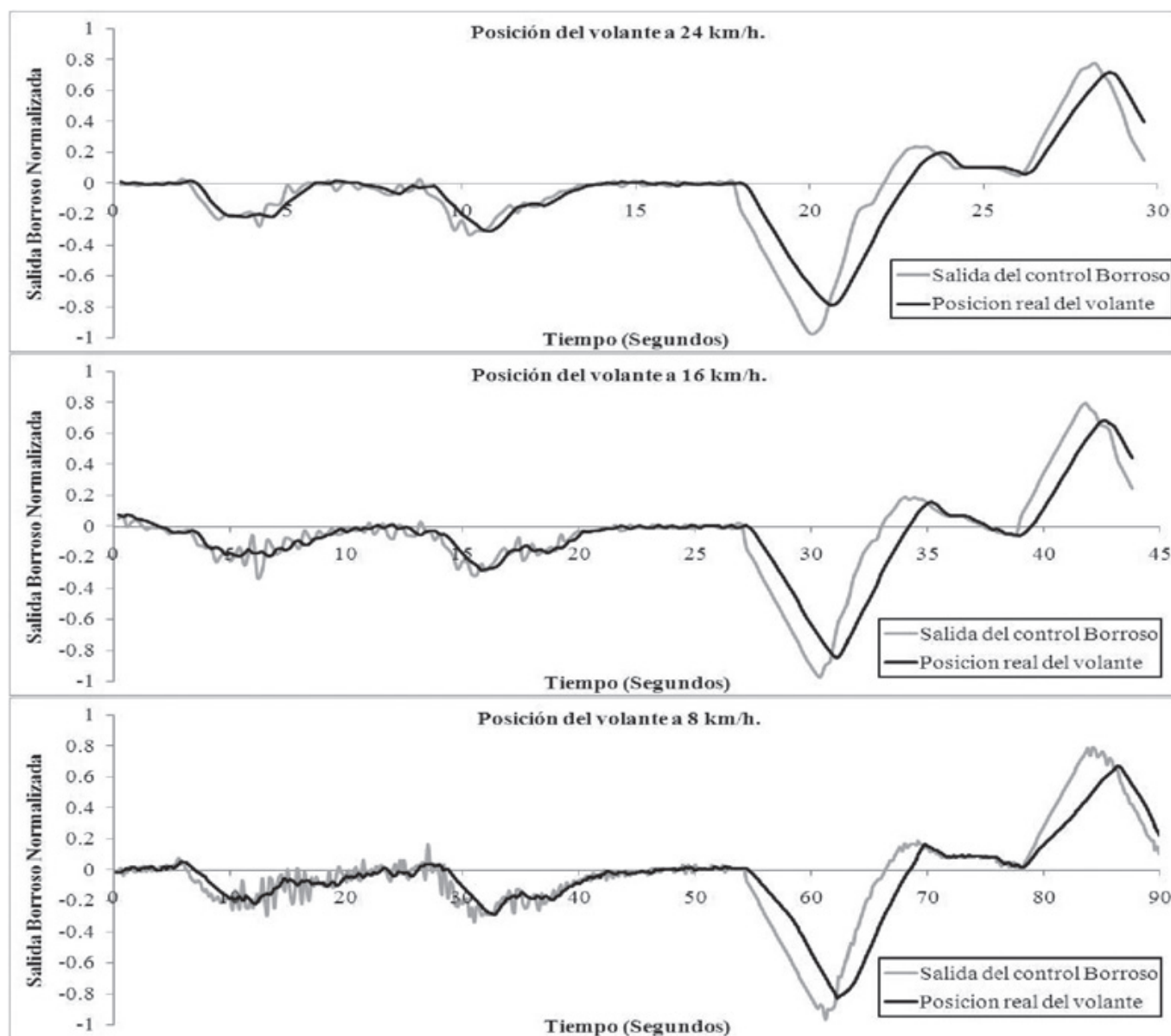


Fig. 11: Salida del controlador para la posición del volante en curvas más pronunciadas

gran avance para la implementación de ADAS en el control lateral de vehículos reales, ya que permite de forma suave y segura actuar sobre la compleja dinámica de los vehículos comerciales en carreteras convencionales. El motor externo utilizado hace que el sistema sea independiente del resto de la electrónica del vehículo.

Con esta nueva arquitectura y utilizando la velocidad angular y la posición del volante como salida para el actuador de la dirección, se logró girar en curvas de 90° a 24 Km/h, lo cual encaja muy bien para aplicaciones en entornos urbanos. En este trabajo nos basamos en el control que debe realizarse en las curvas, pero como parte de los trabajos futuros se propone un estudio más profundo de las condiciones dinámicas del vehículo y entorno, y así poder estimar de una mejor manera el momento indicado para el sistema de ayuda a la conducción en curvas entre en acción. Para ello, por ejemplo, pueden utilizarse los sistemas de detección de cansancio con cámaras, y un mayor número de variables para la activación.

Finalmente, se buscará fusionar el control sobre el volante con el manejo de la velocidad del vehículo, permitiendo cambios de velocidad en diferentes etapas de la curva.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a los proyectos: TRANSITO (Coordinación Local entre Vehículos e Infraestructuras), TRA 2008-06602-C03-01; GUIADE P9-08 (Guiado automático de vehículos de transporte público mediante percepción multimodal para mejorar la eficiencia), y City-Elec (PS-370000-2009-4).

6. BIBLIOGRAFÍA

- Shladover S. "Review of the State of Development of Advanced Vehicle Control System AVCS, swets & zeitlinger, Vehicle System Dynamics", *Vehicle System Dynamics*, 1995, pp 551-595.
- Vaa T, Penttinen M, Spyropoulou I. "Intelligent transport systems and effects on road traffic accidents: state of the art", *IET Intelligent Transport Systems*, Vol. 1 2007, pp. 81-88.
- Milanés V, Onieva E, Perez J, et al. "Control de Velocidad Adaptativo para Entornos Urbanos Congestionados", *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, Vol. 6 2009, pp. 66-73.
- Onieva E, Milanés V, Gonzalez C, et al. "Throttle and Brake Pedals Automation for Populated Areas", *ROBOTICA*, vol 28, 2010, pp 509-516.
- Wu S, Chiang H, Perng J, et al. "The heterogeneous systems integration design and implementation for lane keeping on a vehicle", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 9 2008, pp. 246-263.
- Hsu T, Liu J, Lee W, et al. "Development of an Automatic Parking System for Vehicles", *Proceedings of the IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, (Harbin, China September 3-5, 2008), pp. 1-6.
- Burton A. "Innovation drivers for Electric Power-Assisted Steering", *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 23 2003, pp. 30-39.
- Lusetti B, Nouveliere L, Glaser S, et al. "Experimental strategy for a system based curve warning system for a safe governed speed of a vehicle", *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, (Eindhoven, 2008), pp. 660-665.
- Van Nes N, Houtenbos M, Van Schagen I. "Improving speed behaviour: the potential of in-car speed assistance and speed limit credibility", *IET Intelligent Transport Systems*. Vol. 2 2008, pp. 323-330.
- Jimenez F, Naranjo J. "Nuevos requerimientos de precisión en el posicionamiento de vehículos para aplicaciones ADAS". *DYNA Ingeniería e Industria*, Vol.84-3, p.245-250.
- Milanés V, Onieva E, Vinagre B, et al. "Sistema de asistencia a la conducción basado en una red de comunicación de bajo coste", *DYNA Ingeniería e Industria*, Vol.85-3, p.245-254.
- Hayakawa Y, White R, Kimura T, et al. "Driver-compatible steering system for wide speed-range path following", *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 9-3 2004, pp. 544-552.
- Naranjo J, Gonzalez C, Garcia R, et al "Power-steering control architecture for automatic driving", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 6-4 2005, pp. 406-415.
- Ackermann T, Odenthal D. "Advantages of active steering for vehicle dynamics control," *99ME013*, (German Aerospace Center, 1999).
- Chen X, Yang T. "A Generic Model-Based Advanced Control of Electric Power-Assisted Steering Systems", *IEEE Transactions on control systems technology*, vol. 16-6 2008, pp 1289-1300.
- Yih P, Gerdes J. "Modification of Vehicle Handling Characteristics via Steer-by-Wire", *IEEE Transactions on control systems technology*, vol. 13-6 2005, pp. 965-976.
- Tai M, Hingwe P, Tomizuka M. "Modeling and Control of Steering System of Heavy Vehicles for Automated Highway Systems", *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 9-4 2004, pp. 609-618.
- Chaib S, Netto M, Mammar S. "H ∞ , Adaptive, PID and fuzzy control: a comparison of controllers for vehicle lane keeping", *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, (Universidad de Parma, Italy,2004).
- Milanés V, Onieva E, Perez J, et al. Control de velocidad basado en lógica borrosa para entornos urbanos congestionados , *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol.6 2009, pp.66-73.
- Milanés V, Naranjo J, Gonzalez C, et al. Sistema de Posicionamiento para Vehículos Autónomos , *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 5 2008, pp.36-41.
- Perez J, Gonzalez C, Milanés V, et al. "Modularity, adaptability and evolution in the AUTOPIA architecture for control of autonomous vehicles", *Proc. IEEE International Conference on Mechatronics (ICM)*, 2009), pp.1-5.
- Perez J. "Control Lateral de Vehículos Eléctricos Autónomos y Maniobras Cooperativas", Trabajo de Suficiencia Investigadora (DEA) leído en la Universidad Complutense de Madrid (2009).
- Keming X, Wei H, Jun X. "Superheated Steam Temperature Cascade Control System Based on Fuzzy-Immune PID", *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, FSKD 2007. Fourth International Conference on*, 2007, pp. 624 - 628.
- Jiang W, Youyin J, Chunfa Z. "Robust Cascade Control System Design for Central Airconditioning System" *Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation*, (Chongqing, China 2008) pp.25 - 28.
- Milanés V, Perez J, Onieva E, et al. "Lateral Power Controller for Unmanned Vehicles" *Przegląd Elektrotechniczny Electrical Review*, Vol. 86-1 2009, pp. 207-211.
- Ogata K. "Ingeniería de Control Moderna". Martínez-Sarmiento M-A. (traductor), 3ª edición. Mexico: Prentice- Hall HispanoAmericana, 1998, 670 p. ISBN 970-17-0048-1.
- Tatchikou R, Biswas S, Dion F. "Cooperative vehicle collision avoidance using inter-vehicle packet forwarding" *Global Telecommunications Conference, 2005. GLOBECOM '05. IEEE*, vol.5, no., pp.5 pp.-2766, 2-2 Dec. 2005.
- Fukuoka H, Shirai Y, Yamada K. "Driving support system adaptive to the state of surrounding vehicle drivers" *Intelligent Vehicles Symposium, 2009 IEEE* pp.1215-1220, 3-5 June 2009.
- De Pedro T. "Computación con palabras", *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 4, n.3, (RIAI), 2007), pp 142-143.