

PROYECTO MIMICS: UNA APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTES UTILIZANDO EGNOS

A.F. Gómez Skarmeta, H. Martínez Barberá, M. Zamora Izquierdo, B. Úbeda Miñarro, F.C. Gómez de León, L.M. Tomás Balibrea
Universidad de Murcia

P. Tena López
Ministerio de Fomento

RESUMEN

La Universidad de Murcia, en colaboración con la Universidad Politécnica de Valencia y con la financiación del Ministerio de Fomento a través de la correspondiente convocatoria de ayudas a la investigación, ha desarrollado el proyecto MIMICS. Éste se ubica dentro del ámbito de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) y su objetivo es el desarrollo de un prototipo de sistema de convoy inteligente, en el cual un coche delantero sirve de guía a un pelotón de coches desprovistos de conductor. Así, el convoy prototipo desarrollado consta de dos vehículos: el coche guía que transmite información de sensores al coche que le sigue, y el coche guiado, que se ha automatizado con incorporación de una serie de sensores y actuadores y que, además, recibe la información enviada por el coche guía.

El proyecto MIMICS ha desarrollado sistemas de sensorización y actuación, sistemas de control y navegación, y posicionamiento basado en tecnología EGNOS, lo que ha posibilitado la creación de la infraestructura para la operación del convoy. Así se ha conseguido controlar el comportamiento del coche trasero en un conjunto limitado pero significativo de situaciones, controlando de manera autónoma y desasistida, tanto la velocidad, la capacidad de freno y la dirección. Para ello, se consiguió llegar a un acuerdo de colaboración con una empresa murciana fabricante de vehículos con objeto de modificar uno de sus coches para realizar las funciones de vehículo autónomo y sin conductor.

Este proyecto abre una línea importante en la investigación española en materia de vehículos inteligentes en relación con infraestructuras viales dotadas de modernas tecnologías de telecomunicación, y también en relación con el uso que vaya a efectuarse en el futuro de los sistemas de satélites para posicionamiento y navegación en Europa a través de la integración del sistema de mejora de señal EGNOS en GALILEO.

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto MIMICS **Modelo Inteligente Móvil e Independiente con Control y Sensorización** financiado por el Ministerio de Fomento plantea aportar una solución en el ámbito de los sistemas inteligentes de transporte, y más concretamente en el apartado de vehículos inteligentes. y su objetivo es el desarrollo de un prototipo de sistema de convoy inteligente, en el cual un coche delantero sirve de guía a un pelotón de coches desprovistos de conductor. Así, el convoy prototipo desarrollado consta de dos vehículos: el coche guía, que incorpora una serie de sensores cuya información se transmite al coche que le sigue, y el coche trasero, que incorpora una serie de sensores y actuadores y que, además, recibe la información enviada por el coche guía. Para hacer más robusto el sistema ambos coches operan de forma cooperativa, transmitiéndose información acerca del estado de los vehículos, intenciones del

conductor del primero, así como estados anómalos del segundo. Así se incorporarán tecnologías y funcionalidades incluidas en el área de telemática para los ITS.

Para ello se establecía en el proyecto la incorporación de una serie de sensores en los coches entre los que encontramos:

- Integración de GPS y la nueva tecnología europea de posicionamiento por satélite EGNOS(mejora de las actuales señales de GPS y GLONASS).
- Radar frontal para detección y evitación de obstáculos.
- Sistema de control inteligente para apoyo a la conducción

En la Figura 1 se puede observar el vehículo COMARTH modelo S1-50 que ha sido automatizado.



Figura 1: Prototipo COMARTH S1-50 automatizado.

En este vehículo, al que se le ha incorporado una caja de cambios automática, se han desarrollado e instalado los siguientes sistemas: dirección con asistencia eléctrica, acelerador electrónico, y freno eléctrico. Para ello se han realizado modificaciones mecánicas sobre el vehículo original. Además, se han realizado modificaciones de carrocería y salpicadero para contener los sistemas de sensorización y monitorización, y modificaciones de la distribución interior de componentes para contener todos los sistemas actuadores y su electrónica. El vehículo incluye como sistemas sensores un radar en 77 GHz, un receptor de posicionamiento por satélite EGNOS, un compás electrónico, y un sistema odométrico basado en los sensores del sistema ABS, y una red inalámbrica 802.11b.

Como vehículo guía de convoy se han considerado y evaluado dos opciones: propulsión eléctrica (Bombardier) o térmica (COMARTH). El propósito ha sido comparar las diferentes tipologías de problemas a resolver según el tipo de propulsión. En ambos casos los vehículos han contado con un receptor de posicionamiento por satélite EGNOS, un tacómetro, un compás electrónico y un acceso a la red inalámbrica 802.11b, montados en un rack de 19”.

A continuación pasaremos a describir en detalle los procesos de automatización seguidos en el vehículo dentro de la sección 2, para posteriormente en la sección 3 describir la evaluación que de la señal de pruebas EGNOS se ha realizado dentro del marco de ITS, y finalmente en la sección 4 describir la aplicación de control y navegación realizada y concluir en la sección 5 con un análisis de las vías futuras.

2. AUTOMATIZACIÓN DEL COCHE AUTÓNOMO

El modelo de vehículo Comarth S1-50 dispone de fábrica de una red *CAN* (*Control Area Network*). para el motor, esta red sólo se usa para el control de los parámetros de funcionamiento del motor. Por la filosofía del coche, no se disponen de centralitas adicionales para realizar otro tipo de funciones de confort y seguridad pasiva que un coche de lujo puede tener. Considerando lo anterior, la solución adoptada en este caso, fue la de instalar nuestro propio sistema de buses para centralitas y sensores de forma independiente al que dispone el automóvil para el control del motor de explosión.

Para la interconexión de las centralitas basadas en microcontroladores se ha considerado integrar las señales dentro del bus *CAN* del vehículo. Por otro lado, la interconexión entre las CPUs principales del tipo SBC-PIII (computadores en una sola placa) se hace mediante una red *Ethernet*, utilizando un concentrador (*Switch*) para la comunicación entre ellas.

La interconexión entre las dos redes, *CAN* y *Ethernet*, se realiza mediante una tarjeta, que incorpora un novedoso microcontrolador del fabricante Dallas Semiconductor, programable en JAVA, denominada *TINI* (*Tiny InterNetwork Interface*). Dicha tarjeta cuenta con la posibilidad de poder manejar diferentes tipos de buses, como *Ethernet*, *CAN*, *I2C*, *Onewire* y *RS-232*, siendo su principal objetivo el de servir de traductor entre distintos interfaces de comunicación, aunque también puede realizar pequeñas tareas de control.

En este proyecto, la misión principal de la tarjeta *TINI* es la de actuar de intermediario entre la aplicación de control de alto nivel y los controladores hardware de bajo nivel en el automóvil (para acelerador, freno y dirección, principalmente). Por tanto, hará de traductor entre el interfaz *Ethernet*, que le comunica con las máquinas que ejecutan las aplicaciones de alto nivel, y el bus *CAN* que conecta todas las centralitas microcontroladas del automóvil.

Los módulos de sensorización y control existentes en el vehículo son los siguientes:

- Receptor GPS Novatel con corrección EGNOS [RS-232]
- Receptor GPS Trimble con corrección RASANT [RS-232]
- Brújula electrónica con compensación por inclinómetros [RS-232]
- Módulo de adquisición de odometría de las cuatro ruedas [CAN]
- Sensor Radar 77GHz [RS-232]

- Módulo de control de dirección [CAN]
- Módulo TINI para interface Ethernet-CAN [Ethernet][CAN]
- CPU de control principal SBC-PIII [Ethernet]
- Módulo controlador del freno [CAN]
- Módulo controlador del acelerador [CAN]
- Módulo concentrador Ethernet (Switch) [Ethernet]
- CPU consola SBC-PIII con LCD-TFT 12" [Ethernet]
- Módulo de control para LCD alfanumérico [CAN]
- Punto de acceso de red inalámbrica 802.11 [Ethernet 802.11]

Entre corchetes se ha indicado el tipo de interfaz de conexión de cada uno de los módulos reseñados anteriormente.

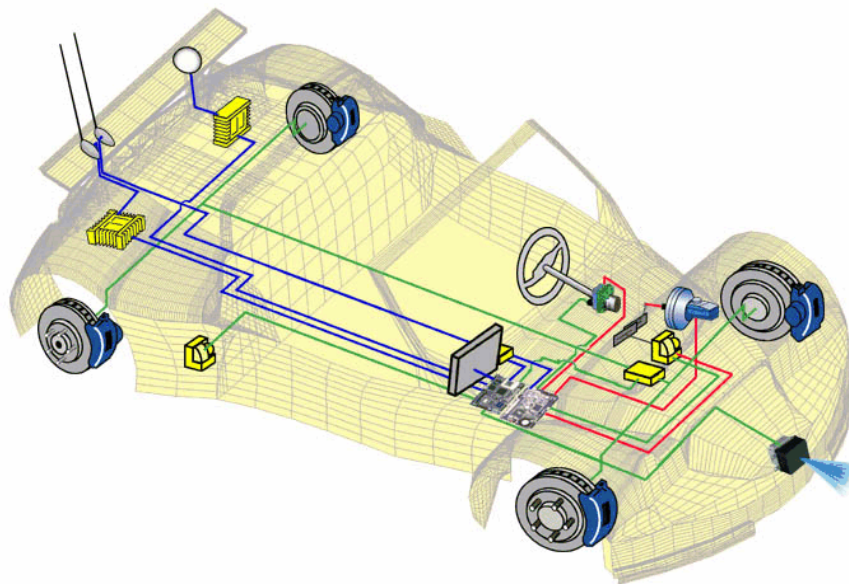


Figura 2.- Estructura del vehículo autónomo

Los receptores GPS, el compás electrónico, y el radar, disponen de un interfaz serie RS-232. Por tanto se opta por conexión directa a los cuatro puertos de la SBC-PIII. En el caso del radar, puesto que sus niveles eléctricos no cumple la norma RS-232, es necesario un circuito de adaptación. Los PCs y la TINI, como ya hemos adelantado, se encuentran interconectados por ethernet mediante un concentrador, y los demás módulos están interconectados mediante una red CAN. En la figura siguiente puede verse el esquema general de interconexión.

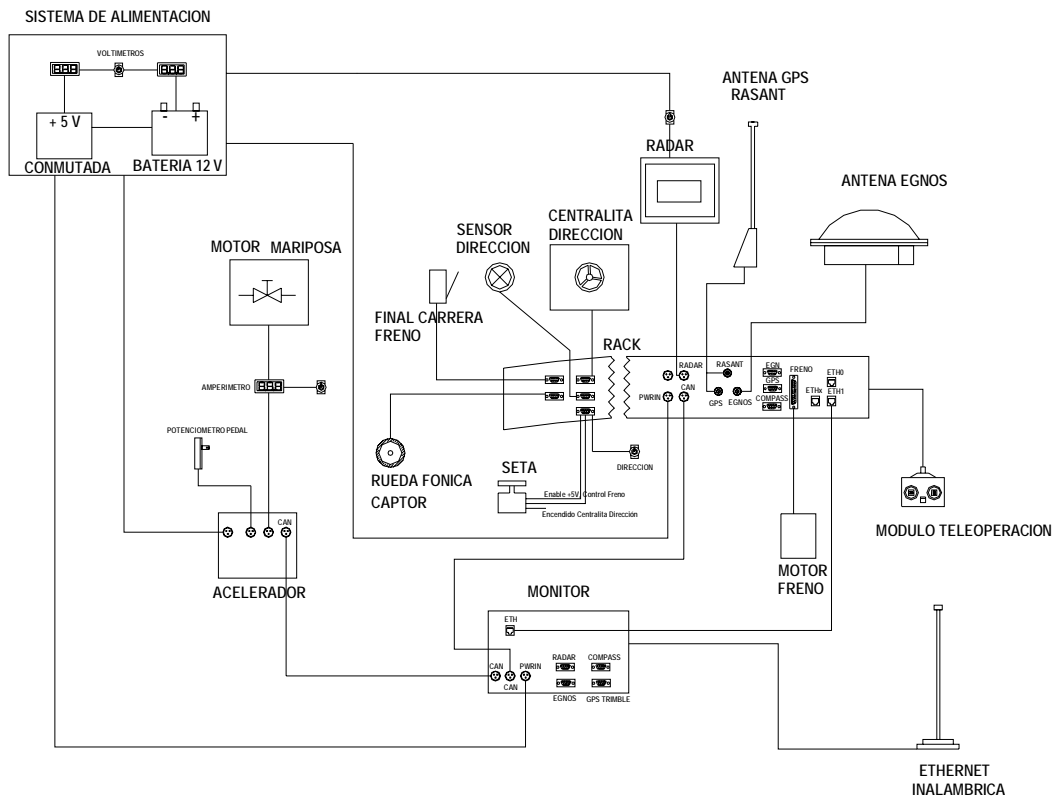


Figura 3.- Esquema General de Interconexión

Un elemento importante es la definición de una red inalámbrica IEEE 802.11 formada entre los vehículos del convoy, con el objeto de transmitir información sobre las acciones de control y posicionamiento del vehículo que va en cabeza, al automóvil no tripulado. Además, en el caso de las pruebas en circuitos cerrados (Campus universitario y circuitos de velocidad), se dispone de un tercer nodo a modo de estación base, donde se va recibiendo información de los vehículos del convoy, y también desde donde se puede tripular el vehículo automatizado.

El entorno de monitorización y control del sistema se ha programado de manera que pueda ser usado, tanto de manera local (en el mismo coche a través de la pantalla y el teclado), como de manera remota desde cualquier ordenador que tenga enlace *Ethernet*. Gracias a la red *Ethernet* inalámbrica, que posibilita la comunicación entre los coches, mantenemos la posibilidad de gestión remota dentro de un entorno limitado por el máximo alcance de la transmisión inalámbrica en la banda ISM de 2.4 GHz.

Para esto, tanto el intercambio de mensajes de control como el intercambio de información sobre posición y estado se ha basado en el intercambio de mensajes a través de la red *Ethernet* mediante conexiones UDP. Estos mensajes, se construyen de acuerdo con un protocolo que se ha definido teniendo en cuenta las premisas de no sobrecargar los mensajes y no ralentizar los ciclos de control, pero que a su vez sirve para diferenciar y delimitar los mensajes enviados.

2.1 Sistemas Actuadores Electrónicos

Inicialmente el acelerador del vehículo Comarth S1-50, plataforma del experimento, era del tipo mecánico. Es decir la mariposa del acelerador se accionaba mediante un cable metálico que recorre el automóvil hasta el pedal del conductor, estando acoplado mecánicamente el pedal del acelerador con la mariposa. Ante esta situación era necesario la sustitución del acelerador mediante cable por uno electrónico que permitiese desacoplar la acción del pedal del acelerador del movimiento de la mariposa. De esta manera sería posible el accionamiento electrónico independientemente de la acción del pedal del acelerador.

El primer paso fue el intentar ir a una configuración comercial de las que montan hoy en día un gran número de vehículos. Esta solución fue descartada debido a la necesidad de poder tener control total sobre el accionador de la mariposa (servomotor eléctrico).

Descartada la opción comercial, el paso siguiente fue el diseñar un acelerador electrónico de desarrollo propio. El acelerador se ha implementado permitiendo el accionamiento automático de la mariposa del sistema de la inyección de coche. Un potenciómetro de doble pista colocado en el pedal del acelerador permite la posibilidad de maniobrar el motor de la mariposa sin necesidad de mover el pedal, además de no eliminar la posibilidad del accionamiento manual, desconectando en este caso el sistema automático. El acelerador electrónico implementado está formado por las siguientes partes:

- Pedal acelerador con potenciómetro
- Centralita controladora del sistema acelerador basada en un microcontrolador.
- Servomotor que maniobra la apertura de la mariposa

En la figura siguiente se puede ver un esquema del sistema acelerador electrónico.

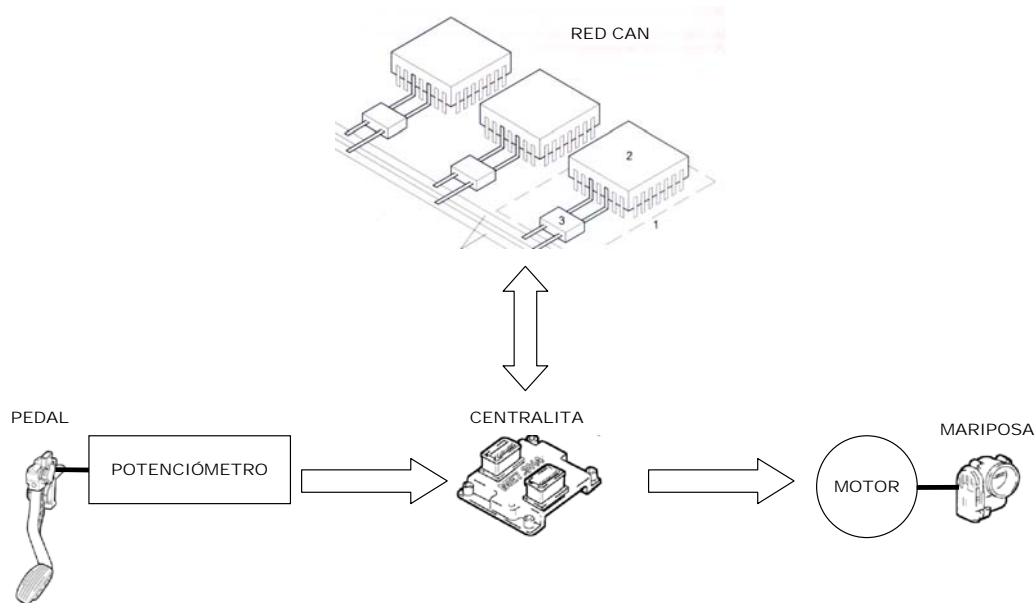


Figura 4.- Detalle de la centralita basada en microcontrolador

Los sistemas ACC (*Active Control Cruise*) que están apareciendo en diversas marcas de automóviles hacen uso de sistemas similares. En este caso se ha implementado un controlador difuso adaptativo que permite mantener una velocidad que se fija como "set-point" (Figura 5).

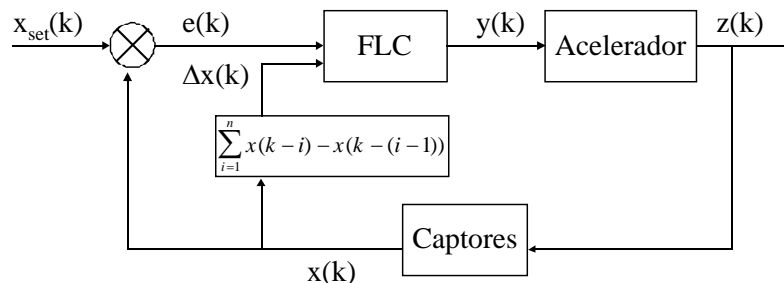


Figura 5: Controlador de velocidad.

El sistema de control de velocidad se encarga de mantener la velocidad del vehículo al valor prefijado por el sistema principal de control y navegación. La tarjeta microcontroladora TINI es la encargada de implementar el controlador de velocidad. Para ello, se vale de la información generada por la placa de adquisición de datos de los odómetros (captorees del sistema ABS del coche situados en cada rueda), y del módulo de control del acelerador. Este último, es el que maneja directamente el servomotor que mueve la mariposa de la inyección, así como se encarga de decidir acerca de la fuente de información de la aceleración del automóvil: pedal de acelerador o información del bus CAN.

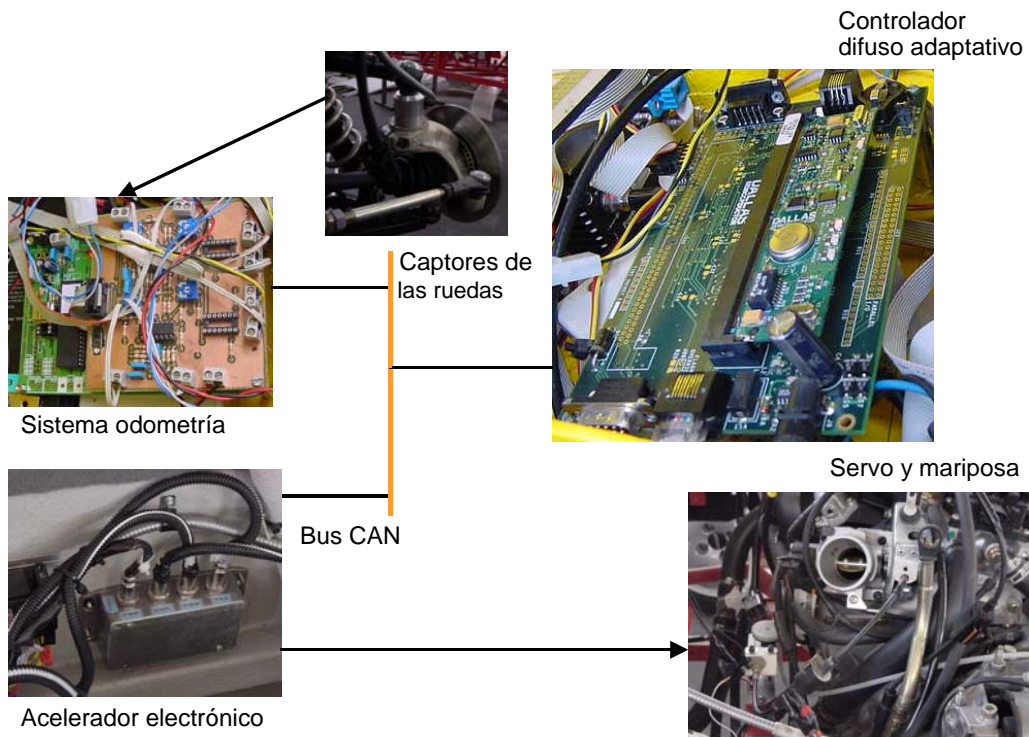


Figura 6.- Lazo de control del acelerador

La automatización del freno ha sido bastante más compleja debido a que se tiene que accionar un émbolo en el servofreno. En este caso los vehículos de pruebas observados, éstos contemplan el accionamiento mecánico del pedal. De igual forma en el vehículo autónomo se ha optado por el accionamiento directo del émbolo a través de un motor en paralelo al pedal del freno, de forma que este continúa totalmente operativo para el accionamiento manual de emergencia. El sistema está formado por un servomotor con reductora planetaria y acoplamiento al eje longitudinal del émbolo a través de una reductora con levas para una rápida retracción del sistema. El sistema de control permite definir una curvas de frenado, que se implementan por medio de un autómatas (Figura 7).

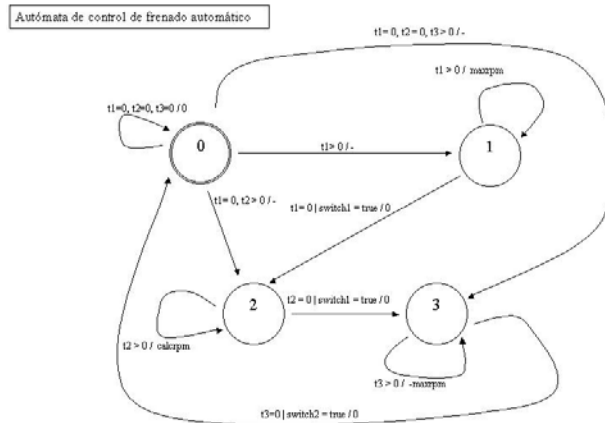


Figura 7: Autómata de frenado.

Este autómata que permanecerá en cada estado atendiendo a unas variables, que son sobre las que actúa el usuario. Este controlador se basa en la modificación de los tiempos que el autómata va a estar en cada estado, lo cual caracterizará la salida del sistema. Cada uno de los estados provoca un comportamiento determinado del motor, con lo cual el pedal de freno actuará pisando el freno o liberando en cada caso.

La salida de cada estado del autómata es la siguiente:

- Estado 0: estado inicial. En este estado el motor estará parado ($rpm = 0$). Se cambiará cuando alguno de los tiempos sea distinto de 0.
- Estado 1: estado de frenado. Durante el tiempo que se esté en este estado (indicado por el tiempo $t1$ o el evento de final del recorrido, indicado por switch 1) el motor recibirá la orden de girar al máximo de revoluciones.
- Estado 2: estado de descenso de frenado. Mientras que se esté en este estado (dado por $t2$ o se llegue al final del eje, indicado switch 1) el motor de freno continuará girando pero irá disminuyendo paulatinamente de revoluciones desde el máximo (puesto en estado 1) hasta 0. Este descenso se realiza de manera lineal con una pendiente dada por el valor de $t2$ (a mayor valor de $t2$ menos pendiente, y a menor valor pendiente más acusada).
- Estado 3: estado de liberación. En este estado (indicado por $t3$ o se llegue al extremo del eje, indicado por switch2) lo que se hará será girar el freno al máximo de revoluciones (como en $t1$) pero en sentido contrario al de frenado, con lo cual el pedal retrocederá y dejará de hacer presión sobre el circuito hidráulico de frenado, desbloqueando el freno.

Este controlador se ejecuta en el microcontrolador de la tarjeta TINI, siendo ésta la encargada de generar y enviar los mensajes a través del bus CAN hacia el controlador de freno, indicando las revoluciones a las que debe girar el motor de freno en cada momento de acuerdo con el estado en el que se encuentre.

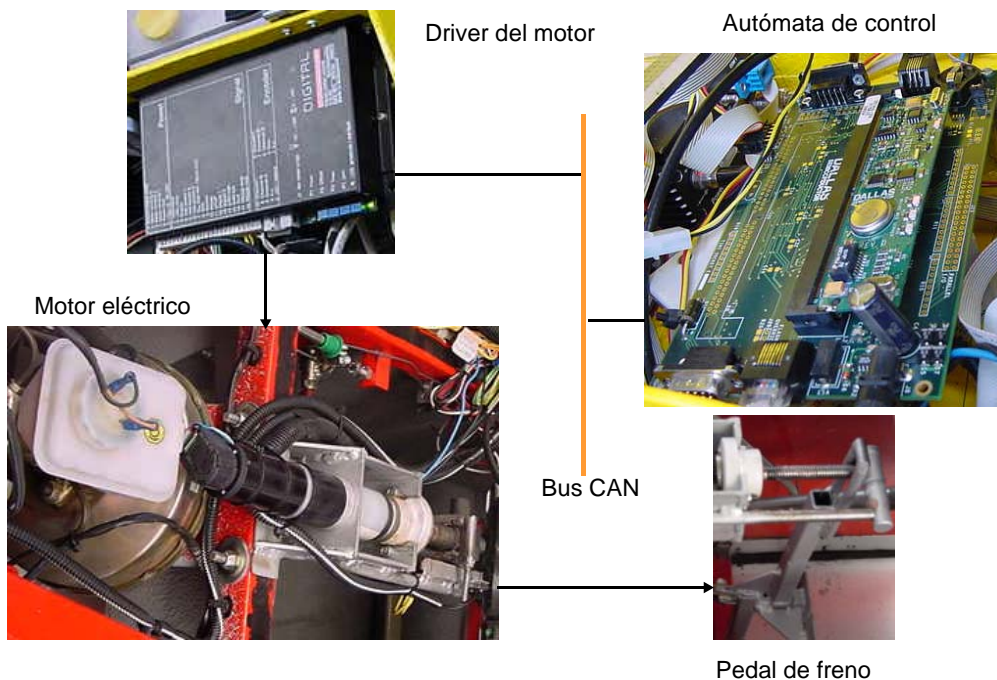


Figura 8.- Lazo de control del freno

Para la automatización de la dirección se ha contado con una servo dirección eléctrica del fabricante Delphi. Este tipo de dirección acciona con un motor eléctrico el eje de salida de la columna de dirección, utilizando las señales de un sensor de par montado en el eje de entrada conectado al volante. De esta forma se han utilizado las señales del sensor de par y posición absoluta para maniobrar el motor eléctrico sin necesidad de accionamientos mecánicos. En este caso un controlador difuso se encarga de mantener la columna de dirección en la posición que se fija como “set-point” (Figura 9).

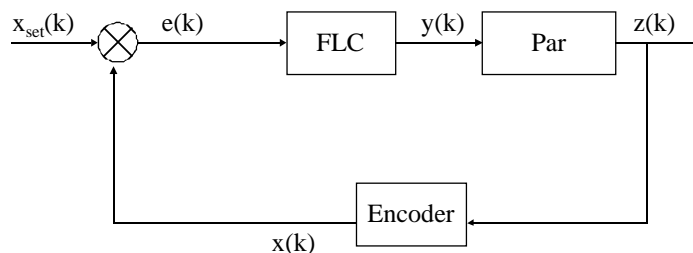


Figura 9: Controlador de posición de dirección.

En concreto la dirección asistida EPS (*Electrical Power Steering*), consiste en un dispositivo de asistencia de la dirección, cuyo objetivo es aligerar el esfuerzo del conductor, sobretodo al girar a baja velocidad, sin que sea demasiado ligera durante la marcha normal.

La dirección electrónica permite así variar la asistencia según la velocidad del vehículo, retorno de la dirección al centro (retorno activo), amortiguación de las oscilaciones en el retorno de la dirección y asistencia seleccionable (Normal / City).

En el moto-reductor los ejes de entrada (volante) y salida (ruedas) se vinculan entre sí mediante una 'barra de torsión calibrada' que permite un movimiento angular de ± 7 grados.

El eje de entrada, en caso de resistencia de las ruedas, estira la barra de torsión, y por tanto el eje de entrada y el de salida se desfasan con un ángulo proporcional al par aplicado al volante. Un sensor de par, montado en el interior del moto-reductor, capta la desviación del ángulo, entre el eje de entrada y el de salida, y envía una señal eléctrica a la centralita proporcional a la desviación.

Los sensores de par y posición están encapsulados en el mismo dispositivo. Básicamente se basa en un potenciómetro formado por pistas circulares, y puentes que modifican la resistencia vista desde los terminales según sea la situación del mismo.

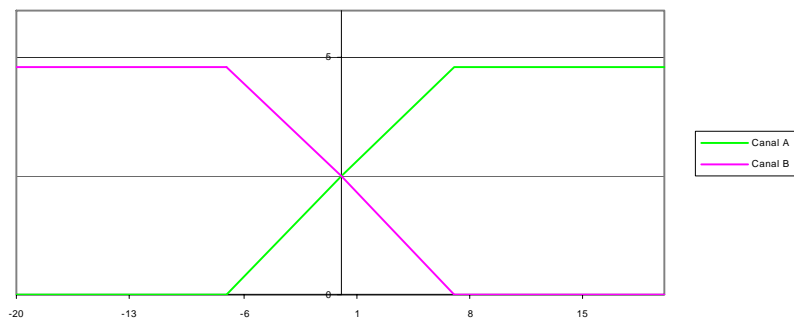


Figura 10.- Curvas de los sensores de torsión, canales A y B.

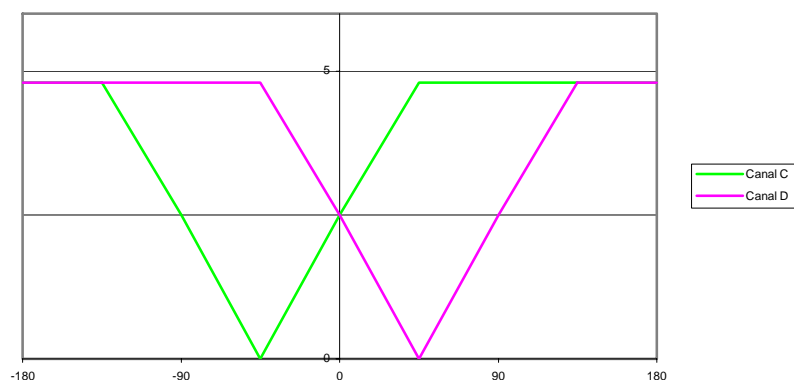


Figura 11.- Curvas de los sensores de torsión, canales C y D.

En las figura 10 y 11 se muestran las curvas de tensión suministrada por los diferentes canales de los sensores en función de los grados de torsión.

La integración de los componentes anteriores dentro del coche para establecer el lazo de control puede verse en la figura siguiente:

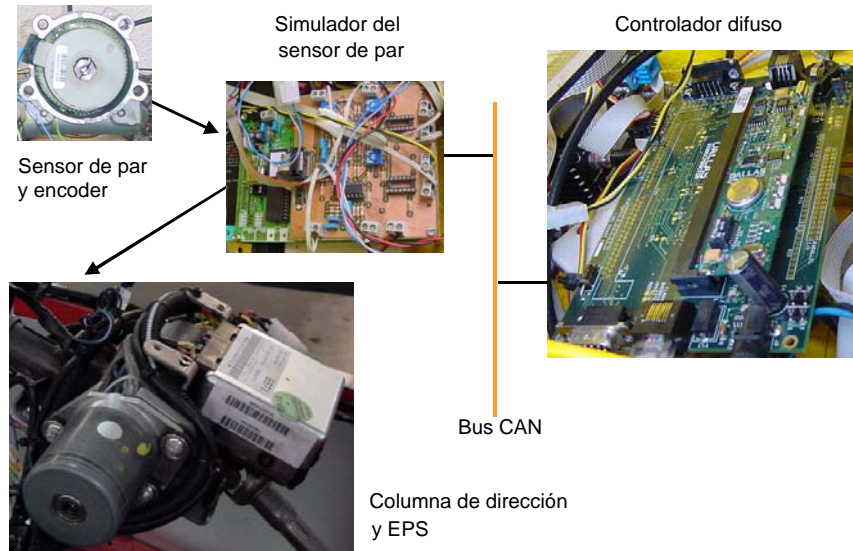


Figura 12.- Lazo de Control de la Dirección

2.2.- Tarjeta simulación sensor de par

Ha sido necesario desarrollar una tarjeta que se encargue de simular el par de volante, que supuestamente ejercería el conductor si el vehículo fuese tripulado. Ésta es una tarjeta de tecnología mixta, que emplea un microcontrolador, junto con circuitos basados en amplificadores operacionales. De esta forma se generan las señales PWM, (*Pulse Width Modulator*), necesarias en ambos canales del sensor de par.

La selección entre modo normal o modo de dirección automática se hace por medio de un interruptor, cuya señal activa un conmutador analógico que da paso hacia la centralita a los canales provenientes o del sensor original o de la tarjeta simuladora.

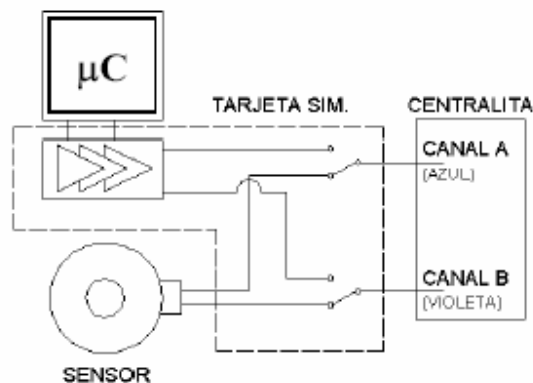


Figura 13.- Tarjeta simulación de par.

2.3 Sistema de Control de Navegación

Para combinar reactividad, modelado difuso, y control basado en comportamientos se ha utilizado la arquitectura de control BGA así como su entorno y metodología de desarrollo. En una primera aproximación, se implementa un módulo de control reactivo del vehículo posterior que implementa tres comportamientos (Figura 14):

- *Mantener_velocidad*: comportamiento encargado de controlar la acción del acelerador en función de la información proveniente de los “encoders”. En esta etapa se fija un “set-point” de 30-40 Km/h de forma que los aspectos dinámicos no ejerzan demasiada influencia en el sistema.
- *Mantener_trayectoria*: comportamiento encargado de actuar sobre la columna de dirección de forma que el vehículo recorra la trayectoria previamente recorrida por el vehículo guía. En este caso, y puesto que se fija una velocidad de referencia fija, los aspectos dinámicos no influyen tampoco en exceso.
- *Evitar_obstáculos*: comportamiento encargado de actuar sobre el freno cuando se produce una situación de peligro para el vehículo. Esto puede ocurrir bien cuando el vehículo guía reduzca fuertemente su velocidad o bien cuando aparezca un obstáculo en la trazada del vehículo. En cualquier caso, se tienen en cuenta aspectos cinemáticos de los vehículos así como la incertidumbre en la posición y velocidad de ambos.

El módulo de fusión de comportamientos simplemente, en función de una serie de sensores virtuales (resultado de un proceso de fusión sensorial), activa o desactiva alguno de los comportamientos. P.ej., el sensor virtual *tiempo_de_colisión* se obtiene a partir de datos del radar, posición GPS corregida de los vehículos, así como las velocidades de los mismos. Cuando *tiempo_de_colisión* sea menor de un determinado umbral “threshold” se desactiva el comportamiento *mantener_velocidad* y se activa el de *evitar_obstáculos*.

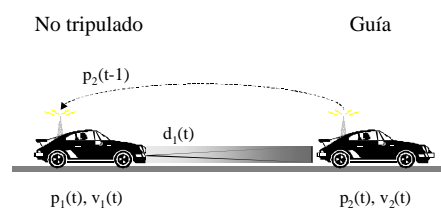


Figura 14: Modelo del convoy.

El comportamiento *evitar_obstáculos*, procede en dos fases, una de predicción y otra de decisión. En la primera, en función de los parámetros del estado actual, velocidad del coche guía $v_2(t-1)$, posición del coche guía $p_2(t-1)$, y posición propia $p_1(t)$, se obtiene una estimación de la distancia a la que se debe encontrar el coche guía y su velocidad. En la segunda fase, la estimación de la distancia y la velocidad, la distancia observada $d_1(t)$, y la velocidad propia $v_1(t)$, se introducen en un controlador difuso que produce como salida un valor recomendado de frenado. Si este valor sobrepasara un umbral, se accionaría el actuador del freno.

El comportamiento *mantener_trayectoria* simplemente traza una curva que pasa por las n últimas posiciones del coche guía $p_2(t-1) \dots p_2(t-n)$, y acciona la columna de dirección para que el vehículo vaya siempre lo más cerca posible de dicha curva. El valor de n dependerá de la frecuencia de actualización de los sensores de posicionamiento (1 Hz) y de la velocidad del conjunto (30-40 Km/h). En este caso se utilizan las últimas 5 posiciones.

El comportamiento *mantener_velocidad* es un simple controlador difuso de una entrada y una salida en configuración de lazo cerrado. Dicho controlador, en función del error en velocidad actúa sobre el sistema acelerador para minimizar este, ya sea acelerando (ligera pendiente hacia arriba) o decelerando (ligera pendiente hacia abajo).

3.- EGNOS Y SU VIABILIDAD EN ITS

Los sistemas de posicionamiento y navegación por satélite actuales, GPS, GLONASS tienen su origen el sistema TRANSIT de la década de los años 70. Se basan en la determinación de la posición mediante métodos de triangulación, conocida la posición de al menos 4 satélites y de la medida de la pseudo distancia entre la posición del receptor (incógnita) y cada uno de los satélites.

Ante las cada vez mayores aplicaciones en el ámbito civil que esta tecnología despierta, las prestaciones exigidas a estos sistemas son cada vez mayores. Ha sido necesario recurrir a sistemas ingeniosos que permitieran realizar correcciones a las estimaciones de la posición obtenida por cada receptor.

Este ha sido el origen de los denominados sistemas de “aumentación” mediante corrección diferencial, basados en la medida en estaciones de referencia de ciertos parámetros de error comunes a todos los receptores situados en una determinada zona de cobertura y la transmisión en tiempo real o en diferido de esta información a todos y cada uno de los receptores de la zona para que ellos procedan al ajuste fino de su estimación de posición.

Según que la zona de cobertura sea de carácter local o de carácter global y según se realice en tiempo real o en diferido, el sistema empleado para la difusión de los parámetros de corrección será diferente. Así, para zonas de cobertura de carácter local y transmisión en tiempo real disponemos del sistema RASANT, que hace uso de la red de emisoras de radiodifusión de RTVE, canal Radio-2 para transmitir dicha información a lo largo de toda España, concretamente para aquellas zonas de cobertura de dicha emisora.

Si las correcciones se almacenan en soporte informático, la corrección tendrá lugar en diferido, pudiendo el usuario obtener dicha información a través de medios tan extendidos como Internet.

Si las necesidades de cobertura son mayores, nivel europeo por ejemplo, y el sistema debe trabajar en tiempo real, el mejor medio para la difusión de la información

de las correcciones es el empleo de la capacidad de cobertura de los satélites geostacionarios.

Estamos ante los denominados sistemas de aumentación global basados en satélite (SBAS), de los cuales EEUU tiene implementado el denominado WAAS, Japón tiene el denominado (MSAS), Canadá tiene el CWAAS y en la Unión Europea, nos encontramos en fase de implantación del sistema EGNOS. “*European Geostationary Navigation Overlay System*”, por parte de la Agencia Espacial Europea. En la figura 15 se muestra la configuración de EGNOS.

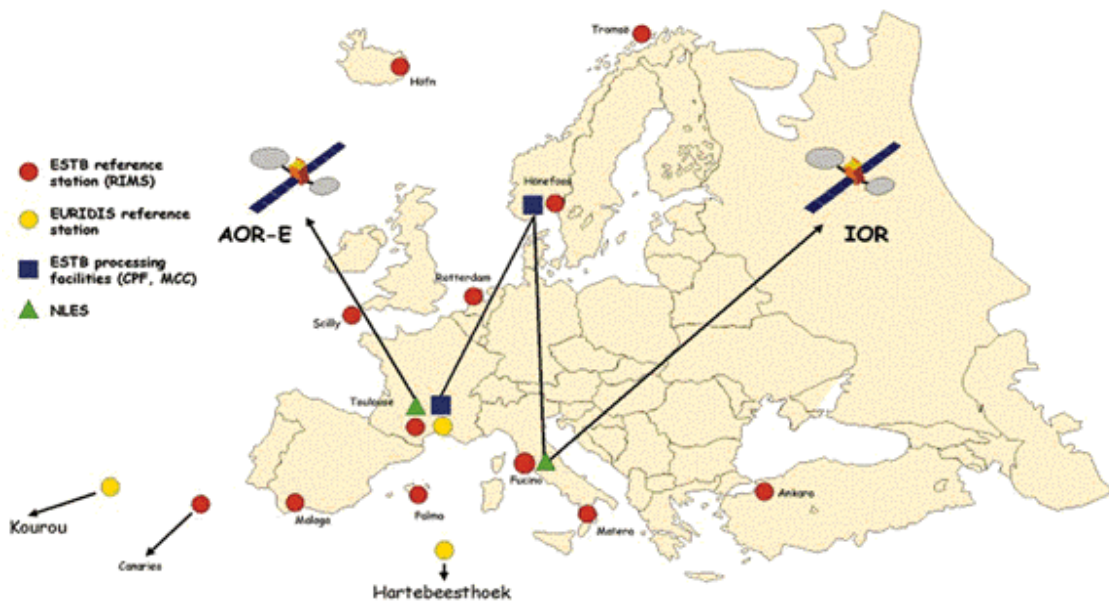


Figura 15.- Configuración de EGNOS

En efecto, desde Febrero de 2000, la Agencia Espacial Europea mantiene este servicio, en fase de pruebas y por tanto en nivel pre-operativo. El nombre dado a tal servicio es ESTB, que responde a las iniciales de “*Egnos System Test-Bed (ESTB)*” o banco de pruebas de EGNOS.

Destacar que la Unión Europea cuenta con el proyecto Galileo, también denominado GNSS-2, cuyo objetivo es lanzar una nueva constelación de satélites de media órbita que permita disponer a la UE, de un nuevo sistema de posicionamiento y navegación por satélite, con prestaciones avanzadas y control civil.

En concreto, dentro del calendario de la ESA, el proyecto EGNOS o GNSS-1 es la primera fase hacia el proyecto Galileo o GNSS-2.

3.1.- Descripción de los sistemas de aumentación, SBAS

El sistema EGNOS intenta realizar a nivel de la Unión Europea un sistema semejante al WAAS americano que permita disponer de un sistema de navegación

avanzado y que reúna el nivel de prestaciones requerido por el transporte aéreo, marítimo y terrestre. El objetivo es mejorar la precisión, en tiempo real, de las posiciones calculadas por medio de los sistemas de posicionamiento existentes (GPS y GLONASS), desde cuatro frentes:

- Cobertura global o amplia, mediante el empleo de satélites geoestacionarios.
- Incrementar la disponibilidad de la señal.
- Mejorar la integridad de la señal
- Continuidad del servicio

EGNOS se engloba así dentro de los denominados sistemas de aumentación basados en satélite, SBAS.

La información sobre las correcciones se transmite a través de una red de satélites geoestacionarios, con cobertura adecuada a la zona donde se pretende dar servicio. Esta zona de cobertura suele ser bastante amplia, de ahí también el nombre dado a estos sistemas, como WAAS, “*Wide Area Augmentation Systems*”.

En concreto, EGNOS emplea para la difusión de las señales de corrección, la red de satélites geoestacionarios del consorcio Inmarsat, de la serie III.

En la figura 16 se muestra la configuración típica de un sistema WAAS.

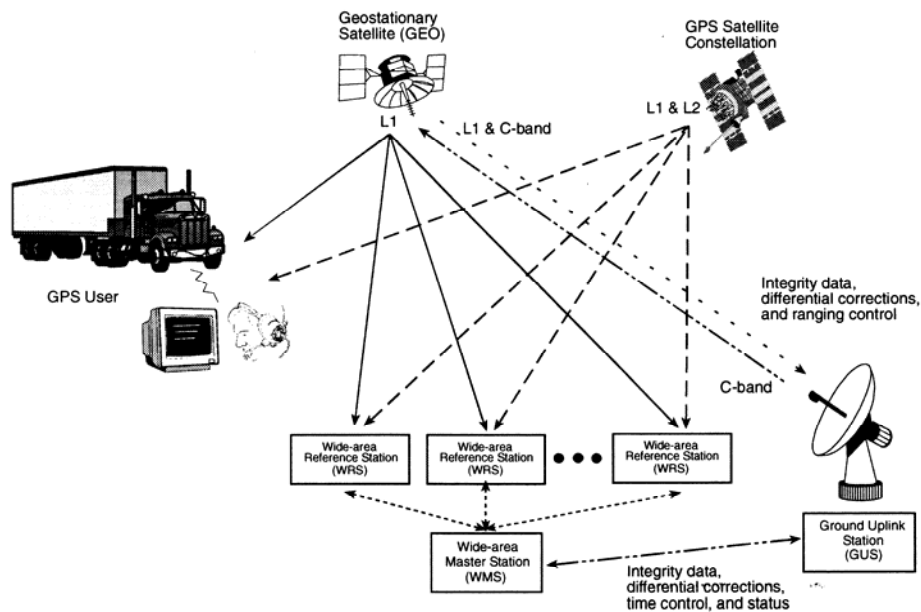


Fig. 16.- Configuración de un sistema WAAS/SBAS

En la actualidad la ESTB emplea estos tres satélites:

- Satélites AOR-E, situado en orbita geoestacionaria sobre el Océano Atlántico en posición 15.5° posición Oeste.

- Satélite IOR, situado sobre el Océano Indico. Posición orbital 65.5° E.
- Satélite Artemis. posición orbital 15°E

Estos sistemas de aumentación, han sido pensados básicamente para Navegación aérea, donde la rentabilidad económica estaría mas que justificada, al permitir la sustitución de los costosos sistemas de radioayuda a la navegación aérea, aunque también han encontrado grandes aplicaciones en navegación marítima y terrestre. Sin embargo, las necesidades son muy diferentes, según que se trate de un tipo u otro de sistema de navegación.

3.2.- Evaluación de las Prestaciones del Actual Prototipo del Sistema: ESTB

Para que el sistema de ayuda a la navegación por satélite a emplear dentro del proyecto MIMICS, pueda ser considerado apto, éste nos debía dar una serie de garantías en cuanto a la precisión, integridad y disponibilidad de los datos. Inicialmente se pensó en el empleo de un sistema GPS con corrección de área local (LAAS) en tiempo real, mediante sistema Rasant. Sin embargo la alternativa final consistió en el empleo del sistema basado en satélite, EGNOS. Para ello necesitábamos evaluar la calidad de sus parámetros.

Para ello, como parte anexa al proyecto, se ha realizado una toma continuada de datos en una posición de referencia estática, se ha procedido a su tratamiento, en post-proceso que nos ha permitido deducir conclusiones acerca de la validez de la señal ESTB, para su aplicación en el transporte terrestre con cierto grado de precisión, como es el caso del ITS.

Inicialmente, se trata de ver la precisión de los datos EGNOS suministrados por un receptor de usuario situado en un emplazamiento estático, pero configurando a éste como si estuviera en dinámico. Con esto, la dispersión de los puntos obtenidos, nos debe llevar a una primera conclusión de la exactitud de éstos.

3.3 Descripción del test realizado.

Se ha instalado la antena en un emplazamiento estático, lo suficientemente despejado como para permitir una muy buena visibilidad de la constelación de satélites GPS y del geostacionario, AOR-E. Se ha procedido a registrar, mediante el LOG del receptor Novatel PRTKA, que es el empleado para navegación, los siguientes datos, a una frecuencia de 1 Hz. El log PRTKA contiene la mejor solución disponible calculada por el receptor, junto con una serie de "flags" de estado. Entre otros datos, nos indica si la solución aportada está corregida diferencialmente o no lo está. Si la corrección es WAAS nos indica si el sistema empleado es EGNOS u otro sistema semejante.

En la figura 17 se muestra el error absoluto de un conjunto de 43200 medidas tomadas durante un periodo de 12 horas, a razón de 1Hz, el día 19 de Mayo de 2001, entre las 00:00:00 horas y 11:59:59 horas UTC. El sistema de coordenadas empleado

es el UTM, dada su utilidad como sistema de coordenadas local XY al permitir expresar las distancias en metros.

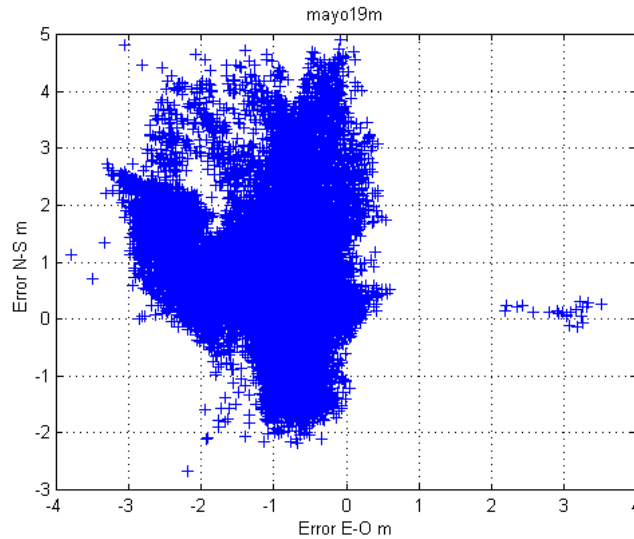


Figura 17.- Nube de puntos, entorno al punto de referencia, (0,0).

Vemos que el error se encuentra entorno a una nube de puntos inscrita en un círculo de unos 6 metros de diámetro.

En la figura 18 se analiza el histograma de estos errores, viendo que en el 95% de los casos, el error en el eje Y se encuentra en torno a los 3.4 metros y el error en la coordenada X, en torno a los 4.1 metros.

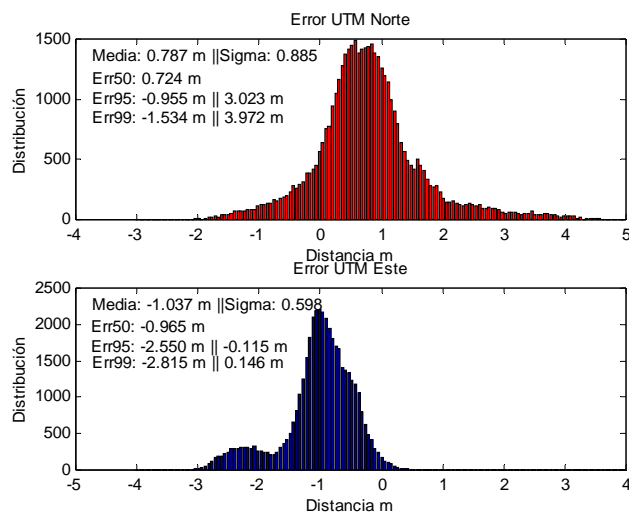


Figura 18.- Histogramas de error, en metros, coordenadas UTM (Este y Norte)

En la figura 19 se muestra mas claramente el error medido para la posición horizontal en otro periodo de 12 horas

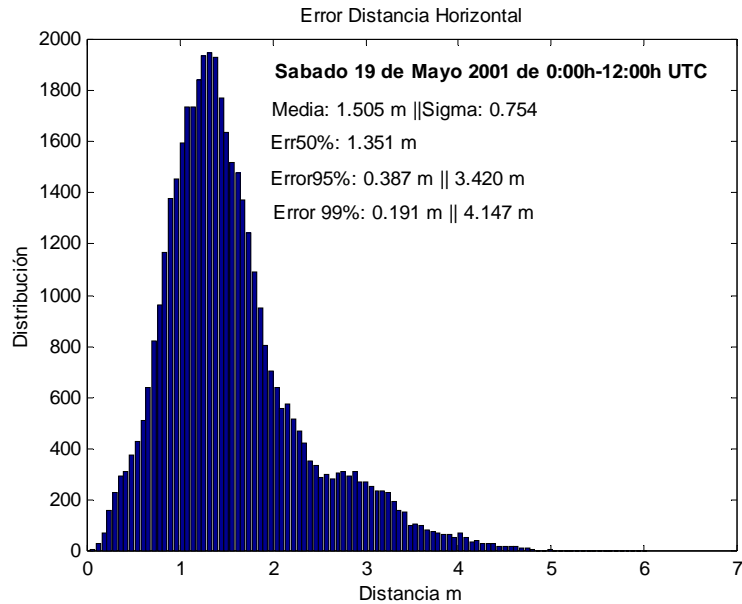


Figura 19.- Histograma del Error horizontal.

Finalmente, en la figura 20 se muestra el error absoluto en la dimensión horizontal y su variabilidad frente el tiempo. Vemos que es necesario cierto tipo de filtrado para que los datos instantáneos puedan ser empleados en navegación.

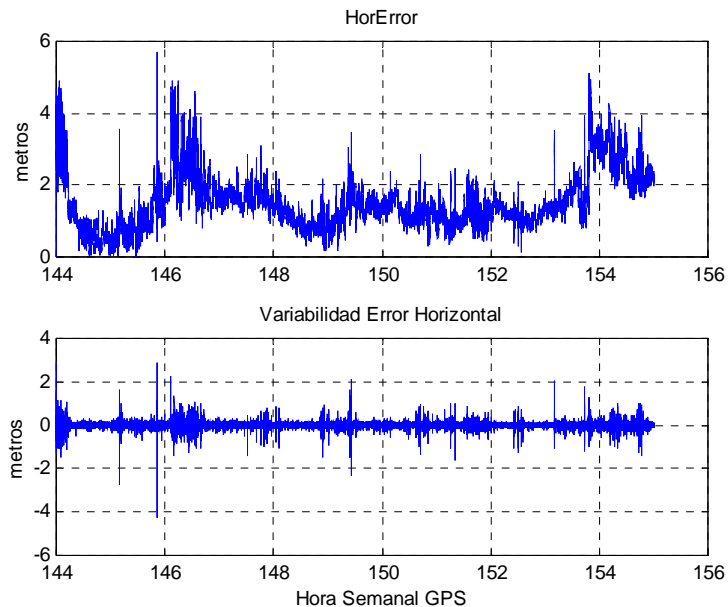


Figura 20.- Error absoluto horizontal y su variabilidad.

Dentro del periodo analizado, las figuras aquí mostradas se corresponden con intervalos donde el funcionamiento del sistema se puede considerar apto, pero a lo largo del mes de captura de datos esto no siempre ha sido así: En efecto, tras periodos de inspección suficientemente largos, la dispersión de los datos obtenidos para un punto estático, ha sido alta, sin duda a causa de las diferentes emisiones en pruebas, sin embargo con periodos de inspección cortos, podemos encontrar segmentos de tiempo donde se cumplen las especificaciones de diseño, en cuanto a precisión, lo que demuestran su viabilidad para ser utilizable en un sistema ITS una vez el sistema se encuentre operativo.

Otro problema observado, dentro de la aplicación para navegación, ha sido la escasa disponibilidad de señal de correcciones en zonas urbanas, debido a las grandes zonas de sombra radioeléctrica que presentan los edificios altos a la señal procedente del satélite geoestacionario. Esto limita este medio como difusor de tal información. Para solucionar dicho problema ya se está desarrollando la opción de envío a través de Internet y de redes de telefonía móvil.

Uno de los aspectos más importantes sobre los que se ha concluido es la necesidad de redefinir los criterios para el calculo del nivel de protección horizontal, HPL y el valor de alerta horizontal, HAL, de cara a su uso en ITS. En la figura 21 se muestra su definición.

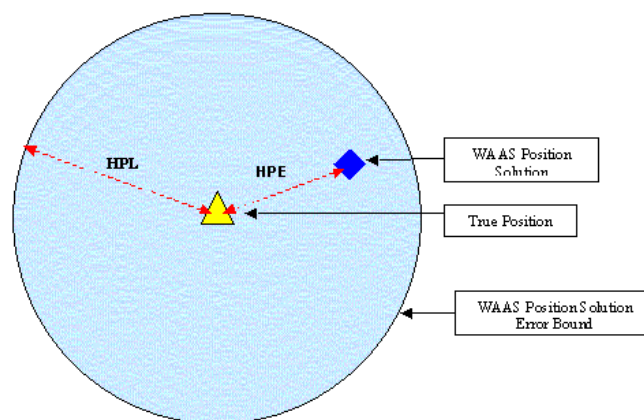


Figura 21.- Definición de HPL

Concluir finalmente, que EGNOS, será un sistema apto para su aplicación como sensor en ITS, cuando la precisión de los datos suministrados por el receptor mantengan unos limites establecidos para el diseño de éste. La navegación, ayudada por la combinación de varios tipos de sensores será la posible solución óptima para ITS. Sin embargo el coste económico de éstos será clave en su desarrollo.

4.- APLICACIÓN DE NAVEGACIÓN

Para conocer en todo momento el estado del sistema, se ha desarrollado una aplicación, de la que se muestran varias pantallas en la Figura 22. Entre otras, la finalidad de la aplicación es la monitorización remota del vehículo. Esta permite saber la localización (GPS/EGNOS y compás electrónico), su velocidad, la posición de obstáculos (radar), y el estado interno de los dispositivos sensores. Además, esta aplicación incorpora una serie de controles que permiten teleoperar el vehículo.

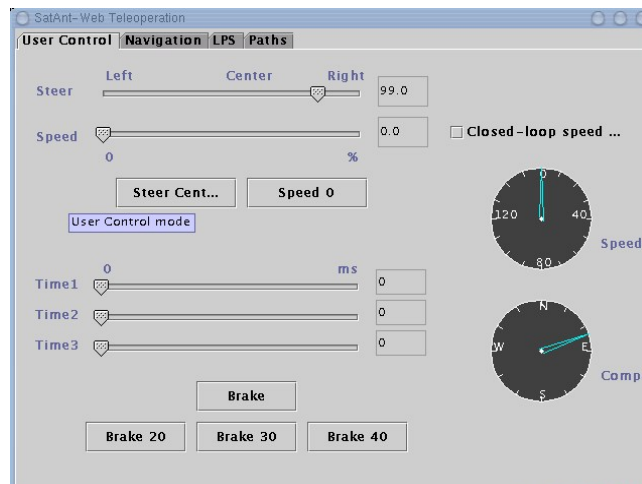


Figura 22: Aplicación de Control

En la ventana "User Control" tenemos disponible la información sobre la orientación del coche dada por el compás electrónico que lleva el coche y la velocidad a la que se mueve dada por la placa que recoge la información de los captadores del coche. Por otra parte aquí tenemos disponible la parte del interfaz destinada a actuar sobre el coche, teniendo disponible un slider para hacer el volante girar, otro para mandar valores al acelerador y un conjunto de tres sliders para configurar un comportamiento de frenado y mandarlo al autómata controlador de freno, así como tres botones con comportamientos de frenado preprogramado. La actuación sobre cada una de las partes es sencilla, permitiendo una teleoperación del vehículo cómoda y efectiva.

La actuación sobre el acelerador puede realizarse en "lazo abierto" o "lazo cerrado". La diferencia consiste en que en lazo abierto se le envía un valor absoluto al acelerador, obteniéndose una apertura de la mariposa del motor (es decir, una actuación sobre el motor) proporcional al valor enviado. Por su parte, en la actuación en lazo cerrado se envía la velocidad deseada al controlador de velocidad y éste, de acuerdo con los valores obtenidos por los captadores, mantendrá esta velocidad (hará que la salida del sistema siga al *set point*).

Para controlar el proceso de frenado se actúa sobre el comportamiento del autómata encargado de su control. En la aplicación se han incluido tres barras para

seleccionar el tiempo que se desea que esté el autómata en cada uno de sus estados, así como tres botones con estos tiempos preconfigurados para distintas velocidades.

La ventana “*Navigation*” nos presenta los datos relativos al receptor GPS que lleva el coche autónomo y la información obtenida del compás.

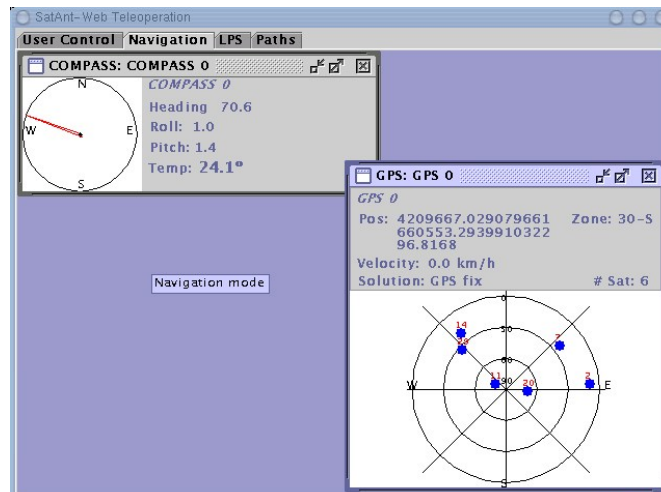


Figura 23: Aplicación de navegación

La ventana del compás nos da tanto la información de heading como otros datos que el dispositivo proporciona como los datos relativos a la inclinación (pitch y roll) y la temperatura. Por su parte la ventana de GPS muestra la información de la posición en coordenadas UTM, la velocidad, tipo de solución y el número de satélites que recibe. Los satélites que recibe pueden verse además representados en la parte inferior según sus datos de elevación y azimut respecto al vehículo.

En la Ventana “*LPS*” se pueden ver los datos proporcionados por el radar instalado en el frontal del coche. Al representar esta información se obtiene una representación del espacio local frente al coche (de ahí LPS: Local Perceptual Space).

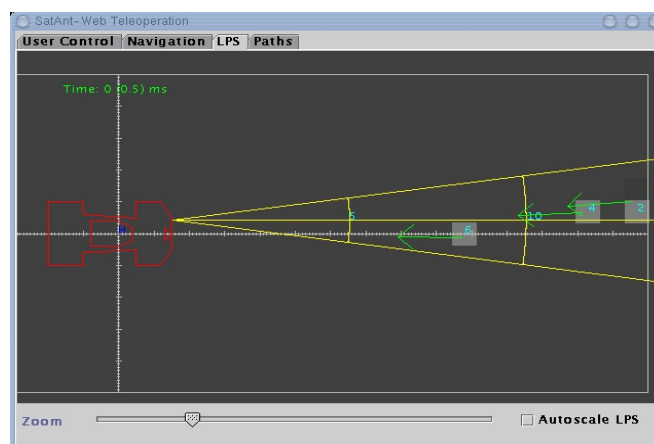


Figura 24: Aplicación del Radar

En la foto anterior puede verse una representación del coche y la información obtenida del radar, donde se puede ver un conjunto de objetivos detectados generados por la presencia de un vehículo delante de nosotros.

Hay que decir que cuando existe un obstáculo situado delante del radar a una distancia cercana al rango inferior de este dispositivo (5 m) el radar detecta más de un objetivo provocado por los múltiples ecos debido a la cercanía del obstáculo.

Por último la ventana "Paths" nos presenta un mapa georeferenciado de la zona donde se están moviendo los vehículos y representa los vehículos de acuerdo con los datos enviados por los dispositivos de localización (compás y GPS) de ambos coches. Se representa un dibujo del vehículo cuya orientación es la indicada por el compás. Sobre esta imagen se muestran además en texto los datos representados, así como una estimación de la distancia que separa a los coches según los datos del GPS.

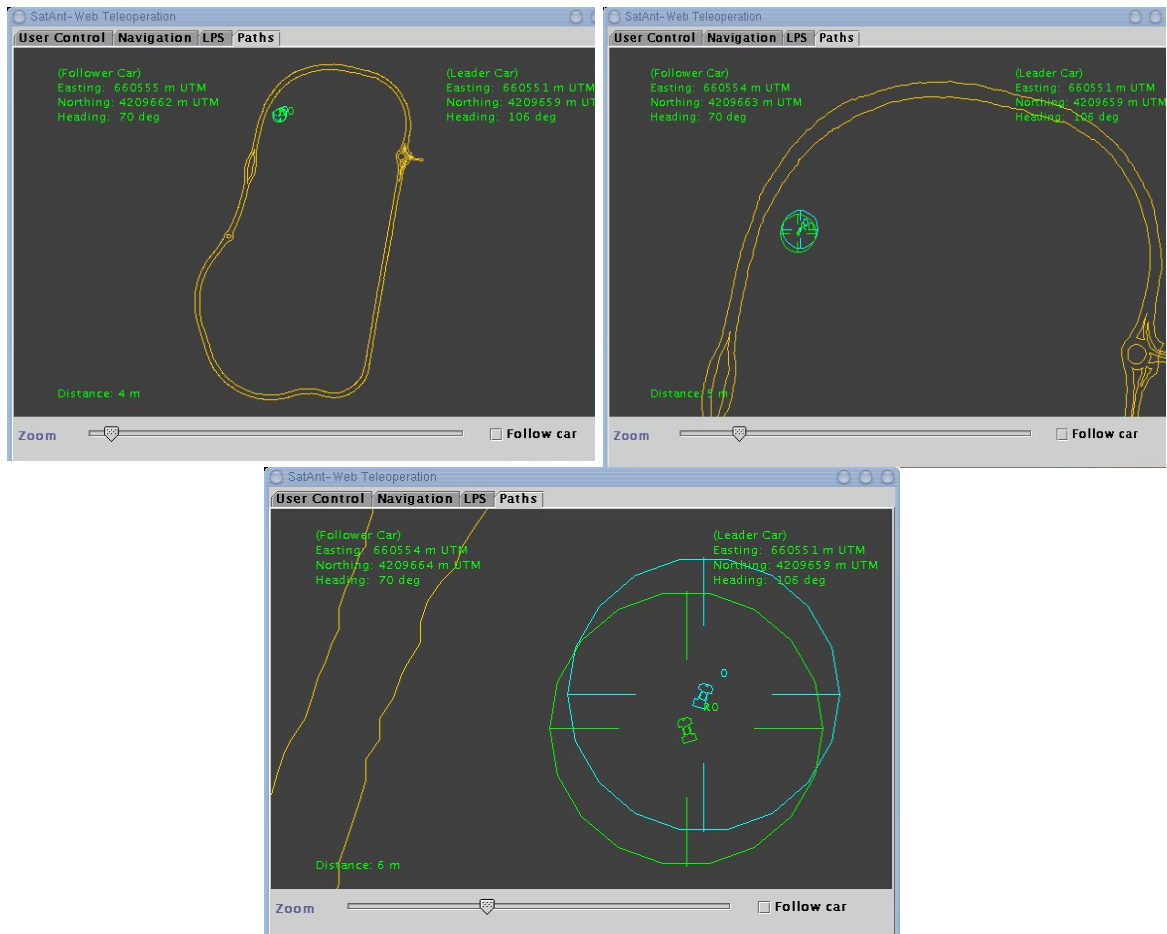


Figura 25: Aplicación de Localización

En la anterior secuencia de imágenes puede verse la representación que se hace en el mapa de los vehículos cuando están aparcados en la Facultad de Informática de la Universidad de Murcia. Como se ve, la aplicación permite hacer zoom para apreciar mejor la situación de los vehículos. Los coches se han representado en distinto color para diferenciarlos siendo el coche verde el “líder” y el coche azul el vehículo autónomo.

5. CONCLUSIONES Y VÍAS FUTURAS

El proyecto MIMICS es un primer paso en la investigación de Sistemas Inteligentes de Transportes sobre las prestaciones que las nuevas Tecnologías de la Sociedad de la Información puedan aportar al futuro del transporte por carretera en un entorno en el que tanto el vehículo como las infraestructuras harán uso de las enormes posibilidades que abren estas tecnologías al modo de transporte terrestre. En este sentido conviene resaltar, que si bien el proyecto MIMICS se ha centrado en la investigación de la cinemática de una caravana de dos vehículos asistidos fundamentalmente por sistemas de navegación por satélite y radar, resulta imprescindible continuar la investigación en el futuro en el amplio marco abierto por todas las tecnologías concurrentes.

Tenemos así que, partiendo de los resultados ya alcanzados y de la evaluación realizada, podemos señalar que nuestros próximos objetivos serían:

- En ámbito del posicionamiento y localización, el evaluar en un entorno variado y real la tecnología EGNOS y sus ventajas desde diferentes perspectivas, así como servicios asociados como puede ser la recepción de señales de corrección a través de Internet con la consiguiente ventaja a la hora de superar problemas de cobertura en ámbitos urbanos
- Seguridad, mediante la integración a través de una arquitectura de control de la información sensorial procedente de diferentes sensores y que permita informar y prevenir al conductor frente a posibles situaciones anómalas
- Sistemas de Abordo, mediante la integración de cartas de navegación, información de posicionamiento, acceso al bus CAN con señales de los sistemas, y en general con acceso a diversas fuentes de información tanto internas como externas y que pueden ser presentadas al usuario a través de una pantalla.
- Acceso a información y en general a servicios telemáticos diversos, desde la conexión de equipos PDA del usuario a la red del propio coche para el intercambio de información personal como destino para fijar mapas de navegación, como en general los paradigmas de la interacción entre las personas individuales, vehículos, productos y los dispositivos y sistemas del info-espacio

La investigación sobre estas tecnologías comprendería las diversas posibilidades que ofrecen los sistemas de comunicaciones dedicadas a corta distancia (DSRC), los nuevos sistemas de comunicación por telefonía móvil, los sistemas de información

geográfica(GIS) y en general las nuevas técnicas de guiado, control e información actualmente en estudio para las infraestructuras viarias de gran capacidad. Todo ello partiendo de un vehículo terrestre en el que las telecomunicaciones y la propia identificación del vehículo (matrícula electrónica) se hallarán integradas, desde el proceso de fabricación, y de unas infraestructuras de carretera, en especial las de gran capacidad, que están cada día mejor dotadas en relación con el uso de las nuevas tecnologías.

Por último señalar que los nuevos sistemas y servicios de la Sociedad de Información Móvil acompañarán y apoyarán a los ciudadanos (y productos) incluso a bordo de los vehículos. Esto requerirá la provisión de info-movilidad al tiempo que respetando la seguridad, y las restricciones medioambientales. La investigación se dirigirá hacia las necesidades del ciudadano móvil que necesita disponer de las nuevas facilidades del vehículo al tiempo que se le garantiza la seguridad plena a los ocupantes, pero también a los otros usuarios del sistema de transporte. El vehículo proporcionará seguridad preventiva, activa pero también apoyo inteligente, activo pasivo y sistemas en caso de accidente.

El I+D debe desarrollar aplicaciones y sistemas ITS, abarcando trabajo en los campos de la telemática, telecomunicaciones y tecnologías de posicionamiento, plataformas de acceso, software para sistemas complejos, sensores con actuadores, sistemas mecatrónicos e interfaces de usuario, y todo ello aplicado a vehículos de diferentes modos de transporte.

Sistemas de abordó: proporcionarán servicios adecuados e integrados con el propio vehículo—incluyendo localización/navegación, información de viaje, dispositivos de pago diseñados para supervisar y apoyar la manera de funcionar del vehículo. Esto requerirá nuevos vehículo que conecten en red sus dispositivos, sensores y equipamiento, software re-configurable y sistemas tolerante a fallos para los vehículos. También incluirá sistemas de aprendizaje que se irán personalizando gracias a la interacción con el conductor.

Seguridad: es el elemento crítico, junto con el acceso rápido a la información a través nuevos tipos de Interacción Vehículo-Hombre. Los medios de interacción pueden incluir el uso de la voz para dar comandos o recibir información, así como paneles y tableros de mando reconfigurables de forma personalizada, así como nuevos sistemas de apoyo interactivos, teniendo en cuenta la carga cognoscitiva del individuo. Éstos ofrecerán una gama amplia de actividades que aseguran la seguridad y confortarán en el vehículo.

El acceso a información personalizada: así como el uso de interfaces de usuario simples ara el acceso a los dispositivos telemáticos y a los subsistemas del vehículo, son la llave para la aceptación del usuario. Los vehículos podrán comunicarse entre si evitando las colisiones y obstáculos, ofreciendo seguridad preventiva y seguridad activa a través de las aplicaciones y sistemas ITS. Para las funciones no-autónomas, se ofrecerá una seguridad y ayuda a través de la interacción con los sistemas incorporados en la infraestructura. Las seguridades de usuarios vulnerables requerirán nuevos enfoques integrados inteligentes con sensores y dispositivos de comunicación.

Posicionamiento/localización : se requerirán además Nuevas tecnologías para sistemas fiables de posicionamiento/localización, incluyendo monitorización remota que supervisa y realizará diagnóstico y reparación remota, al tiempo que los objetos gracias a su capacidad de comunicación permitirán una orden automática de las partes de repuesto.

La investigación a largo plazo se dirigirá hacia nuevos paradigmas de la interacción entre las personas individuales, vehículos, productos y los dispositivos y sistemas del info-espacio. Para lograr estos objetivos requeriremos sistemas móviles de cuarta generación y las técnicas habilitando al uso. Nuevas soluciones en la banda de 5 a 18 GHZ, así como la gestión de recursos de la radio en un ambiente multi-sistema y nuevas técnicas de acceso en sistemas radio serán campos de gran impacto y desarrollo.

AGRADECIMIENTOS

Los investigadores participantes de este proyecto querrían agradecer al Ministerio de Fomento por la financiación dada a través del Proyecto MIMICS del IXI Concurso Público a la Investigación para la realización de Trabajos de Investigación sobre temas de Infraestructura y Transporte, así como al Ministerio de Ciencia y Tecnología por su financiación a través del Proyecto PROFIT FIT 1602002000-33 Evaluación de la Tecnología EGNOS en el Transporte Terrestre y el Proyecto PROFIT FIT 160200-2001-53 MIMICSII. Tecnología de Posicionamiento GNSSI=EGNOS y GNSSII=GALILEO en el Transporte Terrestre

REFERENCIAS

- [1] Daganzo, C., "Experimental Characterization of Multi-lane Freeway Traffic Upstream of an Off-ramp Bottleneck", PATH Draft Report D2000-39.
- [2] Dahlgren, J., "ITS Evaluation Website: Report on Activities between October 1998 and July 1999", Reports to Caltrans 99-C07.
- [3] Gómez Skarmeta, A.F. y Martínez Barberá, H. (1999). *A Fuzzy Agents Architecture for Autonomous Mobile Robots*, International Fuzzy Systems World Congress (IFSA'99), Taiwan, pp 713-717
- [4] Elliott D. Kaplan. *Understanding GPS. Principles and applications*. Artech House 1996.
- [5] Hotchkiss, Noel J., *A Comprehensive Guide to Land Navigation with GPS*, Alexis Publications, 1999
- [6] Shaheen, S., and Uyeki, R.,(2000). "CarLink Economics: An Empirically-Based Scenario Analysis," ITS World Annual Meeting, Turin, Italy.
- [7] ESA, GNSS-1 Project. *ESTB SIS, User Interface Description*.
- [8] WADGPS Laboratory Stanford University. *The NSTB WAAS: A real-time Wide Area Differential GPS Augmentation*.

- [9] Phuong Tran, Jya-Syin Wu, Jeff Lewwellen. *The Sensitivity of Category I Precision Approach Availability to GPS satellite Constellation*. Raytheon Systems Company.
- [10] Vermeij, J., van den Berg, A., Farnworth, R. *Analysis and validation of GNSS performance*. NLR, EUROCONTROL Experimental Centre.
- [11] Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning Systems/Wide Area Augmentation Systems Airborne Equipment, RTCA. Document *DO-229A, Appendix A: Wide Area Augmentation System Signal Specification*. June 8, 1998, RTCA, Washington, DC.
- [12] ICAO-GNSS SARPs, 1999. *Draft Standards and Recommended Practices for the Global Navigation System. Satellite-Based Augmentation Systems (SBAS). Appendix B*.
- [13] *GPSCard MiLLenium Command descriptions Manual, versión 4.501*. Novatel Inc. 1999