El sistema eléctrico de 42V

Ofrecer vehículos con mayor eficiencia, y más seguros y confortables son constantes desafíos para la industria del automóvil. Esto conlleva un incremento de componentes eléctricos y electrónicos a bordo, y como consecuencia un mayor consumo de energía eléctrica. Actualmente todos los fabricantes de automóviles están desarrollando proyectos para sustituir el sistema eléctrico actual de 14V, que ha dado suficiente potencia en los últimos 40 años, por otro a 42V que sea capaz de satisfacer estas nuevas demandas.

Nuevas cargas eléctricas

Hay un constante incremento del consumo de electricidad en los automóviles. Este consumo se ha incrementado de forma drástica en los últimos 10 o 15 años. Los coches de lujo son grandes consumidores de energía eléctrica. Como ejemplo, el BMW 750iL tiene un consumo máximo de 428A (5.9kW). Esto lleva a los fabricantes del sector de automoción a buscar nuevas fórmulas para optimizar el uso de la energía.

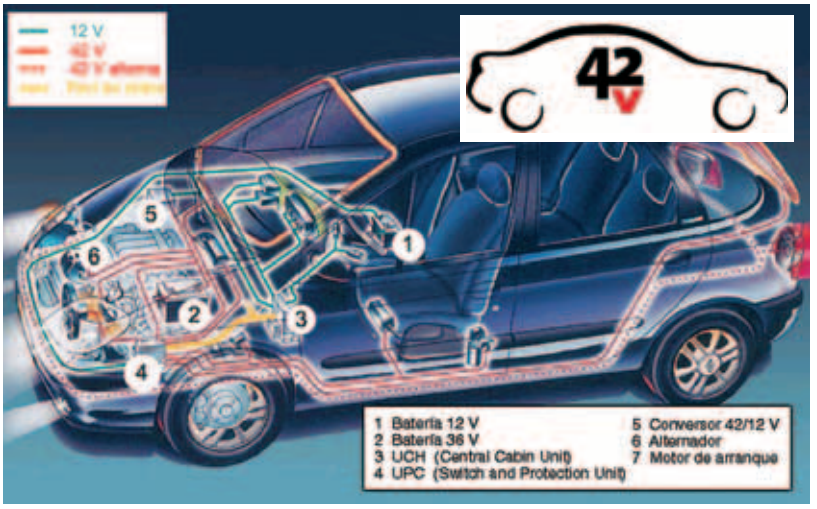
Suministradores tan importantes de equipos para automoción como Delhi predicen que dentro de los próximos 20 años el consumo de un vehículo medio alcanzará los 10kW (que representa una corriente de 725A a 13,8V difícil de manejar) si no emplea ningún tipo de propulsión eléctrica y el doble si la emplea como ayuda al motor tradicional de combustible fósil.

Dos son los caminos sobre los que se pueden efectuar investigaciones: uno, mejorar la forma en que el vehículo genera electricidad para su propio consumo; otro, reducir en lo posible las pérdidas que se producen al transmitirla. Una de las propuestas para esta segunda opción se basa en aumentar la tensión del sistema eléctrico actual, que funciona con una tensión de 12 voltios.

Hace 40 años los sistemas eléctricos de los automóviles se movieron desde los 6 voltios al actual estándar de 12 voltios, con un alternador de 14V (entre 14,2V y 14,8V). Ahora se propone el cambio hacia sistemas de 42V (que usan una batería de 36 voltios y un alternador con una salida de 42 voltios). Este nuevo sistema también se denomina *42VPowernet*. Esta propuesta se inició por un consorcio de fabricantes de vehículos y suministradores de componentes bajo los auspicios del MIT (*Massachusetts Institute of Technology*).

El aumento de la tensión reduce las pérdidas de los nuevos elementos eléctricos, que

Juan José Domínguez Sánchez.
Ingeniero del ICAI. Actualmente en la División de Sistemas de Potencia (PSD) de Alcatel España.



son grandes consumidores de energía. Estamos pensando en equipamientos de confort tales como la dirección asistida eléctrica, el parabrisas calefactado e incluso la climatización eléctrica. La electrónica de a bordo y los sistemas de navegación y multimedia aparecerán también en una proporción cada vez mayor. Los equipamientos de seguridad tales como el ABS o el ASR y el sistema de frenado eléctrico se sumarán a estos elementos para consumir aún más energía eléctrica. En cuanto a órganos mecánicos, el motor Camless (sin levas) puede ser también un gran consumidor de energía. Este aumento es también consecuencia del accionamiento eléctrico de anteriores funciones mecánicas o hidráulicas como direcciones asistidas o selectores eléctricos del cambio de marchas.

Por otro lado, si la tensión se mantuviera en los 14V, la energía eléctrica suministrada no permitiría satisfacer la demanda de estas prestaciones suplementarias. Asimismo, las pérdidas en línea disminuirían la eficacia de las máquinas eléctricas giratorias. Los alternadores y las tecnologías actuales no pueden suministrar la potencia eléctrica necesaria para los vehículos del futuro.

El alternador es el principal elemento afectado por los 42 V. Desde 1980, las necesidades en energía eléctrica en un automóvil aumentan un 4% en cada año. La potencia eléctrica necesaria para un vehículo de gama media ha aumentado un 50% entre 1980 y el 2000, y podría aumentar un 300% para un vehículo de gama alta en los próximos 5 años. Si un vehículo de gama alta consume actualmente 1.5kW, en el 2005 consumirá alrededor de 5kW cuando la tecnología de los alternadores de 14V actuales está limitada a 2.5kw.

La implantación de esta nueva tecnología requiere la sustitución de todos los componentes actuales, preparados para trabajar a 14 voltios, por otros diseñados para funcionar a 42 V. No todos los sistemas son capaces de funcionar desde tensiones más altas, o disminuyen su vida útil, especialmente lámparas de filamento, circuitos integrados y pequeños motores. En estos casos, sistemas tipo PWM (*Pulse Width Modulation*) pueden sustituir el bus de 14V.

Se prevé un período de transición en el que los vehículos estarán preparados para funcionar tanto a 14 como a 42 voltios; cuando el mercado lo permita, se implantarán exclusivamente dispositivos de 42 voltios. Durante el desarrollo del proyecto *42VPowernet* ha habido más dificultades, tanto técnicas como económicas, de las previstas en un principio. Como resultado de esto los fabricantes han retrasado sus planes para la introducción de esta tecnología. Algunos fabricantes tienen planeado que los primeros vehículos bi-tensión aparezcan en el año 2006. Las previsiones actuales son de más de 500.000 vehículos con baterías de 42V para el 2008 y cerca de 10 millones en el 2010.

Ventajas de aumentar la tensión eléctrica

La potencia consumida por un aparato eléctrico es producto de la tensión a la que está sometido, por la intensidad de la corriente que llega hasta él. Para hacer frente al aumento de consumo se puede aumentar bien la tensión, bien la intensidad, o ambas.

El problema radica en que mientras la potencia transmitida aumenta linealmente con la intensidad de corriente, las pérdidas que se producen en los conductores (como la instalación eléctrica de un automóvil) lo hacen con el cuadrado de dicha intensidad. Si se necesita duplicar el suministro de energía de un dispositivo podemos hacerlo duplicando la intensidad de corriente que llega a él, pero esto provocará que las pérdidas en los conductores se multipliquen por cuatro.

Con una instalación a 42 voltios, manteniendo la misma intensidad o lo que es lo mismo sufriendo las mismas pérdidas en los conductores, podemos transmitir una potencia tres veces mayor que la que se transmite a 14 voltios. Gracias a ello, se puede hacer frente a consumos de energía mayores sin que las pérdidas resulten excesivas. Por otro lado una menor intensidad autoriza el uso de conductores de menor sección, que resultan más ligeros y más baratos de fabricar.

Además permitirá al sistema eléctrico el manejo de las últimas tecnologías *fly by wire: steer by wire* (permite aumento de prestaciones, mejora de la seguridad activa y pasiva) , *brake by wire* (mejora de las prestaciones del vehículo), control electromagnético de válvulas (disminuye las emisiones y tiene menor coste), suspensión activa…

Pero el principal interés de la reducción de las pérdidas producidas radica en el ahorro de combustible que ello puede suponer. La potencia eléctrica de un automóvil se almacena en la batería, que el alternador se encarga de mantener cargada cuando el motor está en marcha. Esta energía debe ser obtenida de la que proporciona la combustión de la gasolina en los cilindros, así que una reducción de la energía eléctrica necesaria significa mejorar el consumo.

Se estima que cada 100 vatios de potencia eléctrica producidos suponen un aumento del consumo de combustible estimado en 0,17 litros cada 100 km en vehículos de gasolina y 0,15 en vehículos diesel. Actualmente el combustible consumido en la generación de electricidad llega hasta 1,2 litros por cada 100 Km en los vehículos de lujo. Un vehículo completamente equipado requiere una potencia media de aproximadamente 800W y una potencia máxima de 2kW. En la próxima década la media subirá hasta los 4kW con potencias máximas de hasta 14kW.

En resumen, el paso a los 42 voltios permitirá optimizar el consumo de energía eléctrica por reducción de las pérdidas en las conducciones y favorecerá así la reducción del consumo, descendiendo con ello las emisiones de CO_2 (las cuales contribuyen al efecto invernadero). La mayor ligereza de los cables, derivada de la disminución de la intensidad, jugará también a favor de una bajada del consumo. En general permite sistemas más pequeños, ligeros, eficientes y de mayor duración.

Nuevas formas de obtener energía

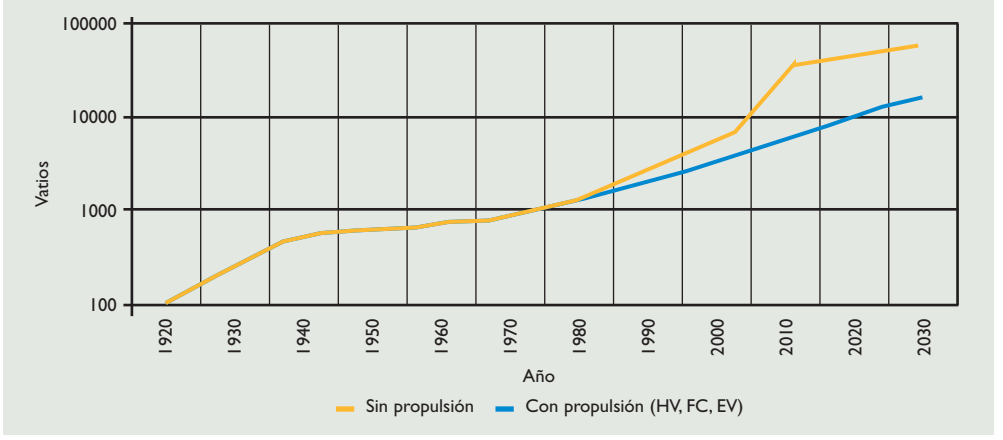
Además de reducir las pérdidas por transporte de electricidad, otra línea de actuación es la búsqueda de nuevas formas de obtener la energía. Se está trabajando sobre dos posibilidades: un generador auxiliar basado en una pila de combustible y el ADIVI (Alternador Arranque Integrado al Volante de Inercia), que integra alternador, motor de arranque y volante de inercia en un único elemento.

Hay un interés creciente en los vehículos híbridos. Actualmente los más conocidos son el Toyota Prius y el Honda Insight. Utilizan tensiones mucho mayores que las propuestas para la red de 42V (el Toyota utiliza un sistema de 288V y el Honda de 144V).

El generador auxiliar de energía con pila de combustible es un dispositivo que genera corriente eléctrica al formar agua a partir de sus componentes elementales, hidrógeno y oxígeno. Esta tecnología consiste en suministrar toda la energía eléctrica necesaria para la red a bordo mediante una pequeña pila de combustible. Cabe destacar que esta pila puede funcionar incluso con el motor parado. Ésta es una ventaja esencial para el cliente, quien en caso de encontrarse bloqueado en un embotellamiento podrá parar su motor y a la vez seguir haciendo funcionar la climatización, por ejemplo.

Las SOFC (*Solid Oxid Fuel Cells*) podrán otorgar a los sistemas eléctricos existentes subsistemas que son manejados mecánicamente en la actualidad, y a las nuevas aplica-

Tabla 1. Potencia de pico para vehículos de pasajeros



ciones que están por venir (como los sistemas *x by wire*) una operación más eficiente con mejor control y reducción de energía.

Las pilas de combustible de óxidos sólidos se pueden considerar el futuro de la generación de electricidad, ya que según los expertos tienen una alta eficiencia (del 70% en la producción de electricidad, que puede alcanzar el 90% si el calor que se desprende se aprovecha) y no producen gases tóxicos. Para más información sobre este tema se puede consultar el artículo "Celdas de combustible" en la revista *Anales de Mecánica y Electricidad* Vol. LXXIX, Fascículo II, Marzo-Abril 2002 y Mayo-Junio 2002.

La otra propuesta, el ADIVI, se basa en la sustitución del alternador y el motor de arranque por una máquina eléctrica que desempeñe ambas funciones integrada en el volante de inercia. Esto supone una ligera ventaja en peso, a la vez que permite aprovechar las posibilidades del motor-generador más allá de lo que ahora permiten el motor de arranque y el alternador.

Puesto que en el ADIVI el motor de arranque queda permanentemente unido al cigüeñal, la puesta en marcha del motor puede ser realizada de una forma mucho más suave. Esto facilita la adopción de la función *Stop&Go*, que para el motor del automóvil cuando éste se detiene durante más de unos segundos y lo pone en funcionamiento cuando el conductor decide reiniciar la marcha. Esto supone notables beneficios en lo que a economía de combustible y emisiones contaminantes se refiere, especialmente en entornos urbanos. También es posible hacer que el motor de arranque suministre su potencia no sólo en el momento de la puesta en marcha, sino que puede actuar como motor suplementario en cualquier situación en que el conductor requiera una aceleración superior a la que el motor de combustión es capaz de suministrar, como pueda ser una incorporación a una vía rápida o un adelantamiento.

En lo que a su funcionamiento como generador respecta, el ADIVI también presenta importantes ventajas frente al tradicional alternador. Al margen de una mayor simplicidad mecánica, que hace innecesaria la transmisión del movimiento del cigüeñal a través de una correa, el ADIVI permitirá determinar en qué momentos resulta más ventajosa la conversión de energía mecánica en eléctrica. Así, permitirá recuperar parte de la energía cinética del vehículo durante las frenadas, que de otra forma se perdería irremisiblemente a través del sistema de frenado.

Otro ejemplo de este dispositivo es el ISAD (*Starter Alternator Damper*) que está siendo desarrollado por la compañía alemana Continental ISAD Electronic Systems GmbH & Co. y está siendo probado por BMW y Citroën.

Arquitectura de la red de 42V

La primera fase hacia sistemas de 42V es el desarrollo de un sistema de doble tensión. Para reducir la intensidad, los grandes consumidores de energía tales como el ventilador del radiador, la dirección asistida o el motor de arranque se alimentan a 42 voltios. El generador suministra 42 voltios a la red y mantiene las baterías de 36 voltios (las cuales se encargan de arrancar el motor de combustión) completamente cargadas. Este sistema mejora el proceso de puesta en marcha del vehículo. La tensión de 14 voltios con baterías de 12 voltios alimenta a los consumidores de poca potencia con menores requisitos de potencia máxima como unidades de control y sensores. La energía a 14 V se consigue desde la tensión de 42 V a través de un convertidor de tensión de corriente continua.

Gracias a un sistema "inteligente" de gestión de la energía eléctrica, los niveles de consumo de energía se calculan en función de los requisitos de los consumidores eléctricos, del nivel de carga de las baterías y del estado de carga del generador. Priorizando la conexión y desconexión de funciones y reduciendo la intensidad en los mayores consumidores se consiguen evitar sobrecargas en el circuito. También se consigue de esta forma reducir el peso de las baterías y del generador, sus precios y el consumo. Accionando eléctricamente las unidades auxiliares se consigue un control más sencillo y una fabricación y adaptación a los vehículos más barata.

Hay actualmente dos comités multicompañía trabajando en el nuevo estándar. En el *Massachusetts Institute of Technology, el Consortium on Advanced Automotive Electric/Electronic Components and Systems* incluye General Motors, Ford, Daimler-Chrysler, BMW, PSA-Peugeot /Citroën, Renault, Volvo y suministradores de equipos electrónicos para automoción como Delphi, Bosch y Siemens. En Europa, Sican, una organización en Hannover, Alemania, está trabajando con los mayores fabricantes de coches y de componentes para automoción alemanes para formular el nuevo estándar de 42 voltios. Existen riesgos para pasar a la tecnología de 42V con lo que

los fabricantes de automóviles van a introducir primero sistemas de tensión dual 12/42V.

Se han propuesto varias aproximaciones a la introducción de sistemas de 12/42V:

- **Generación y almacenamiento de una sola tensión.** Un alternador de 42V carga una batería de 36V que da servicio a las cargas de 36V, se utiliza un convertidor DC/DC para cargar una batería de 12V que alimenta a las cargas de 12V.
- **Generación de una tensión y almacenamiento de dos tensiones.** Un alternador de 42V carga el lado de 36V de una batería dual de 12/346V, se utiliza un convertidor DC/DC para cargar el lado de 12V de la batería.
- **Generación de dos tensiones y almacenamiento de una sola tensión.** Un alternador dual de 12/42V carga dos sistemas separados, uno de 12V y otro de 36V.
- **Generación y almacenamiento de dos tensiones.** Un alternador dual de 12/42V carga una batería dual 12/36V.

El Bus CAN

A finales del año 1989 la industria del automóvil se encontraba ante varios retos: mayor comodidad (accionamientos eléctricos, control de temperatura…), mayor seguridad (ABS, AIRBAG)… y menor consumo (rendimiento de los diferentes sistemas, disminución de la contaminación…).

Para los tres grupos se utilizan sistemas de control electrónico, al principio con una única unidad electrónica de control (ECU), y luego añadiendo otras. Esto significa la presencia dentro del automóvil de un elevado número de microcontroladores y todo el cableado necesario para establecer la comunicación entre estos dispositivos.

Para la disminución del cableado la industria del automóvil busca un BUS adaptado al uso en vehículos. Lamentablemente los distintos fabricantes de automóviles desarrollaron su propio BUS y cada sistema fue incompatible con los otros. En los primeros años de la década de los 90 surgieron los BUS CAN, VAN, J1850SCP y J1850DLC…, posteriormente abandonados en favor del CAN que hoy se perfila como líder mundial en BUS para automóviles.

El BUS CAN (*Controller Area Network*) es un protocolo de comunicaciones serie que se aplica de forma eficiente a sistemas de control distribuido en tiempo real con un alto nivel de seguridad. Es aplicable tanto en redes de alta velocidad como a cableado multiplexado de bajo coste.

Tabla 2. Generación en dos tensiones y almacenamiento de energía en una tensión

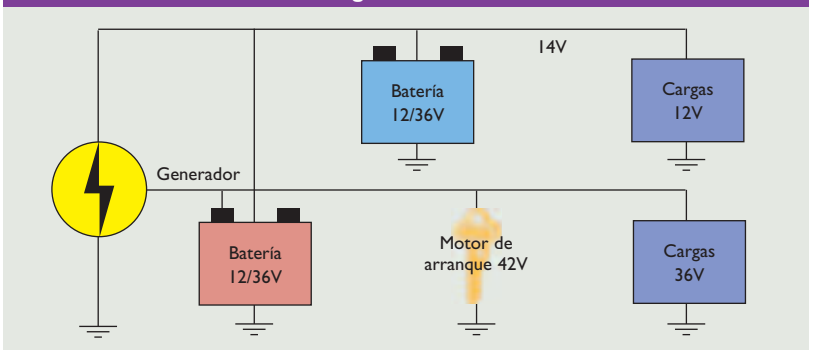


Tabla 3. Generación y almacenamiento de energía en dos tensiones

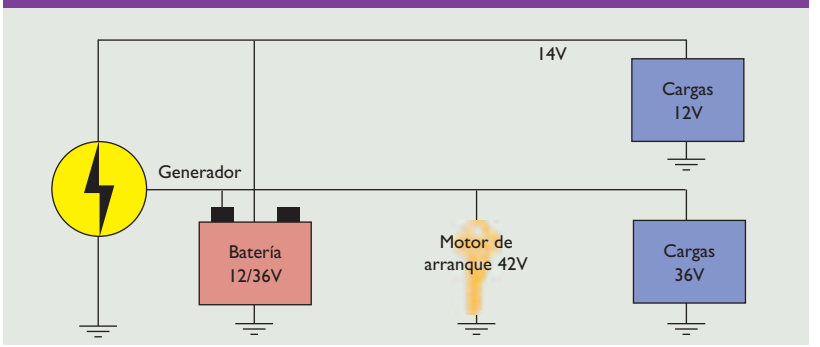


Tabla 4. Generación de una tensión y almacenamiento de energía en dos tensiones

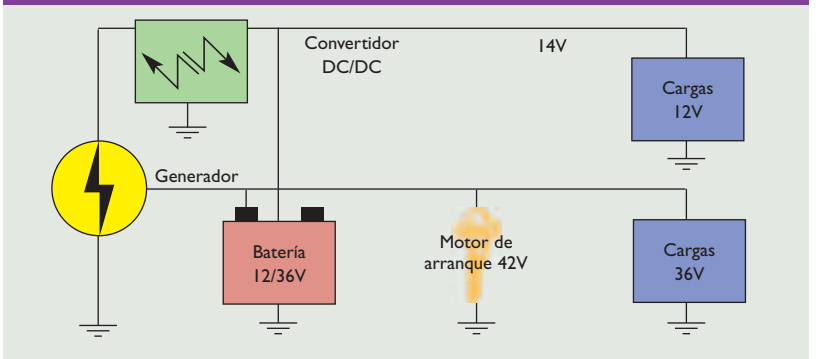


Tabla 5. Generación y almacenamiento en una tensión

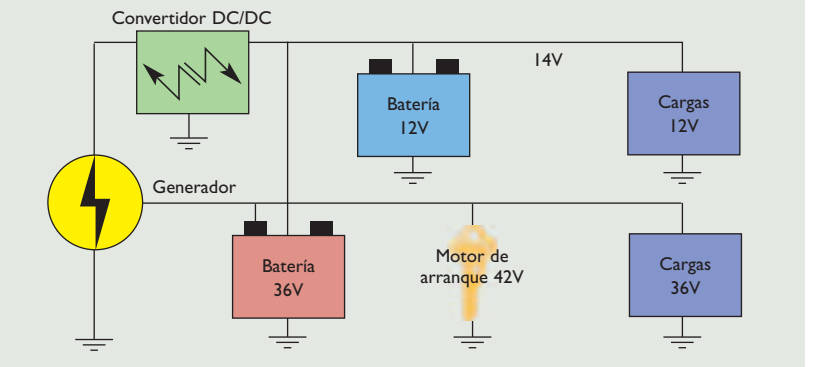
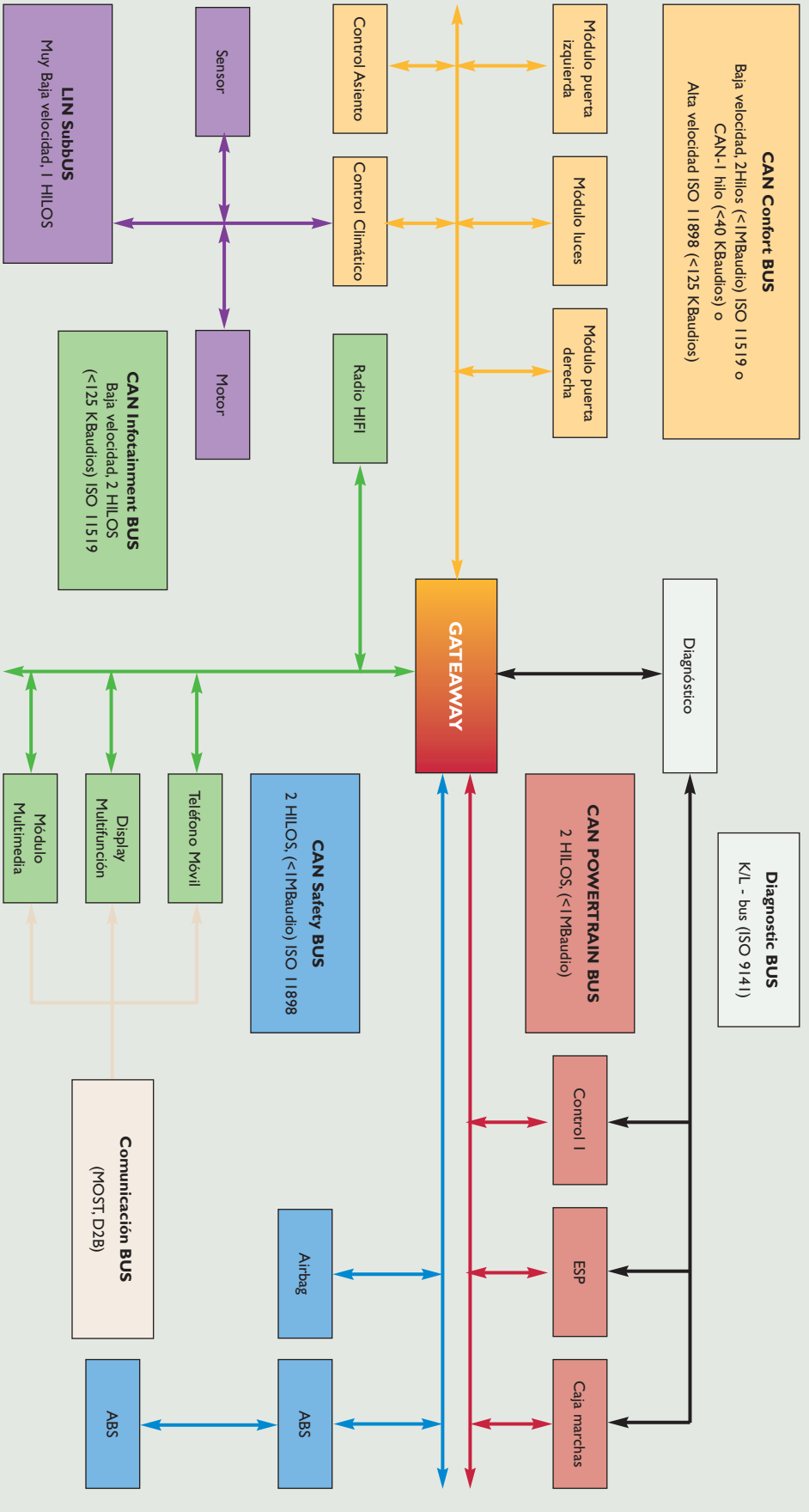


Tabla 6. Sistemas de Bus en el automovil



Fue especificado originalmente por la compañía alemana Robert Bosch GmbH para aplicaciones críticas en tiempo real. Permite el intercambio de información entre unidades de control electrónicas del automóvil aumentando considerablemente las funciones presentes en los sistemas del automóvil ya que el sistema permite compartir una gran cantidad de información entre las unidades de control del sistema, lo que provoca una reducción importante tanto del número de sensores utilizados como de la cantidad de cables que componen la instalación.

Debido a sus características, tales como robustez y excelente relación coste/prestaciones fue adoptado para aplicaciones industriales y de control.

En dispositivos electrónicos dentro del automóvil tales como unidades de control de motores, sensores, sistemas anti-deslizamiento… se conectan usando el BUS CAN con velocidades hasta 1Mbit/s. Al mismo tiempo es interesante en el ámbito de coste implementarlo en sistemas electrónicos como grupos de lámparas, elevalunas eléctricos… para reemplazar al cableado convencional.

Entre 1993 y 1994 el BUS CAN fue aceptado como un estándar mundial por la *International Standardization Organization* (ISO), definiéndose las capas ISO-OSI 1 y 2. De acuerdo al estándar ISO, la "*CAN Specification Version 2.0*" sirve actualmente como base para las diferentes implementaciones con CAN.

La Parte A de estas especificaciones describe el formato del mensaje con su identificador de 11 bits llamado "*Standard CAN*". La Parte B describe los formatos de mensaje del Standard y del "*Extended CAN*" con su identificador de 29 bits.

Actualmente se tiene la norma ISO 11529-2 para CAN de baja velocidad, iniciado por BOSCH en 1980 y que establece una velocidad de transferencia de datos entre 5 y 125 Kbits/seg, y la norma ISO 11898 para CAN de alta velocidad con velocidad de transferencia de datos hasta 1 Mbits/seg.

Antes del CAN, la mayoría de los protocolos en tiempo real estaban basados en el principio del paso de testigo (*token*), es decir, un procesador tiene el derecho de transmitir datos por la red, cuando éste recibe el *token.* Después de haber finalizado la transmisión (o lo más usual, después de un tiempo límite), éste deberá ser entregado a otro procesador. Este *token* se pasa a todas las estaciones existentes a manera de un anillo lógico.

El comportamiento en tiempo real para los protocolos basados en el método anterior (*token passing*) no es generalmente muy bueno, pues cuando un procesador tiene que enviar un dato muy urgente, deberá esperar hasta que le toque su turno, y esto puede tomar mucho tiempo. Este tiempo de espera puede ser muy grande debido a que cada estación del sistema tiene derecho a permanecer con el *token* un período determinado de tiempo, a pesar que sólo esta enviando mensajes que no son urgentes.

Por este motivo la transmisión de los mensajes urgentes será retardada por los mensajes que no son urgentes, lo que reduce la característica de tiempo real del protocolo. Una manera de mejorar esta característica sería reduciendo, para cada procesador, el tiempo de posesión del *token*. Sin embargo, el efecto secundario de realizar esta medida, es que la proporción del tiempo de utilización del bus usado para pasar el *token* aumenta, mientras que el ancho de banda disponible para el envío de mensajes disminuye; esto afecta otra vez el comportamiento en tiempo real del sistema.

El CAN sin embargo es un BUS serie con capacidades de multi-maestro, esto es todos los nodos son capaces de transmitir datos y algunos de ellos pueden solicitar el BUS simultáneamente. En las redes CAN no hay direccionamiento de abonados o estaciones en el sentido convencional, pero en cambio se transmiten mensajes con prioridades.

Un transmisor envía un mensaje a todos los nodos CAN (difusión). Cada nodo decide sobre la base del identificador recibido si debe procesar el mensaje o no. El identificador también determina la prioridad que el mensaje posee para competir por el acceso al BUS. Cada mensaje a enviar con una prioridad determinada usa un mecanismo especial de arbitraje para asegurar que el mensaje de mayor prioridad sea el mensaje transmitido. A la prioridad se le denomina también identificador del mensaje.

Cada mensaje CAN puede transmitir de 0 a 8 bytes de información de usuario. Por supuesto, se puede transmitir datos de mayor longitud utilizando segmentación. La máxima velocidad de transmisión especificada es de 1Mbit/seg. Este valor se aplica en redes de hasta 40m. Para mayores distancias se debe reducir la velocidad de datos: para distancias hasta 500 m. es posible una velocidad de 125 kbits/s, y para transmisiones hasta 1km se permite una velocidad de 50 kbit/s. ∎