

# **Diseño de un sistema automático de validación de dispositivos integrados en el vehículo**

## **ANEXO**

Proyecto Final de Carrera  
Ingeniería en Automática y Electrónica Industrial

Realizado por:  
**Andrés Peñalver Núñez**

Dirigido por:  
**Beatriz Amante García**

Terrassa (Barcelona), Enero de 2010

**Departamento de Proyectos de Ingeniería**

**Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial i Aeronàutica  
de Terrassa (ETSEIAT)**







# Índice General

---

<b>Anexo 1</b>	<b>Bus CAN.....</b>	<b>- 7 -</b>
	1.1.1 Arquitectura del protocolo CAN.....	- 8 -
	1.1.2 Física de la transmisión.....	- 8 -
	1.1.3 Funcionamiento .....	- 12 -
<b>Anexo 2</b>	<b>Catálogo IDS Gigabit .....</b>	<b>- 17 -</b>
<b>Anexo 3</b>	<b>Planificación .....</b>	<b>- 21 -</b>



## Anexo 1 Bus CAN

El bus CAN (acrónimo de *Controller Area Network*) es un protocolo de comunicación desarrollado por Bosch, entre 1983 y 1986, para el intercambio de información entre unidades de control electrónico del automóvil. El intercambio de datos se produce mediante un bus de solamente dos cables, por el que circula una gran cantidad de información y a elevada velocidad. El uso de este bus en automoción tiene principalmente las siguientes ventajas respecto al cableado convencional:

- Disminución del volumen de cableado y por tanto del coste económico y del peso del vehículo.
- Aumento del espacio en el habitáculo mediante unidades de control más compactas y con conectores más pequeños debido a la reducción del cableado.
- Disminución del número de sensores en el vehículo, ya que la señal de un sensor puede ser utilizada por múltiples unidades de control.
- Aumento de la velocidad de transmisión entre unidades de control.
- Aumento de las funciones de las unidades de control.
- Bajo porcentaje de errores mediante una verificación continua de la información transmitida por parte de las unidades de control y de los mecanismos de control de errores del protocolo de datos.
- Fácil ampliación del protocolo de datos tan sólo mediante modificaciones en el software.

- El Bus CAN es un estándar normalizado a nivel mundial (norma ISO 11898), esto mejora el coste y la compatibilidad entre fabricantes.

### **1.1.1 Arquitectura del protocolo CAN**

El protocolo CAN es un sistema de transmisión de tipo serie con arquitectura de bus multi-master, ya que todos los abonados tienen la misma prioridad para depositar datos en el bus. Se considera un protocolo que funciona en tiempo real, es decir, transmite pequeñas cantidades de información a elevada velocidad. Esta característica le permite ser apto para la transmisión de procesos dinámicos como los existentes en el motor.

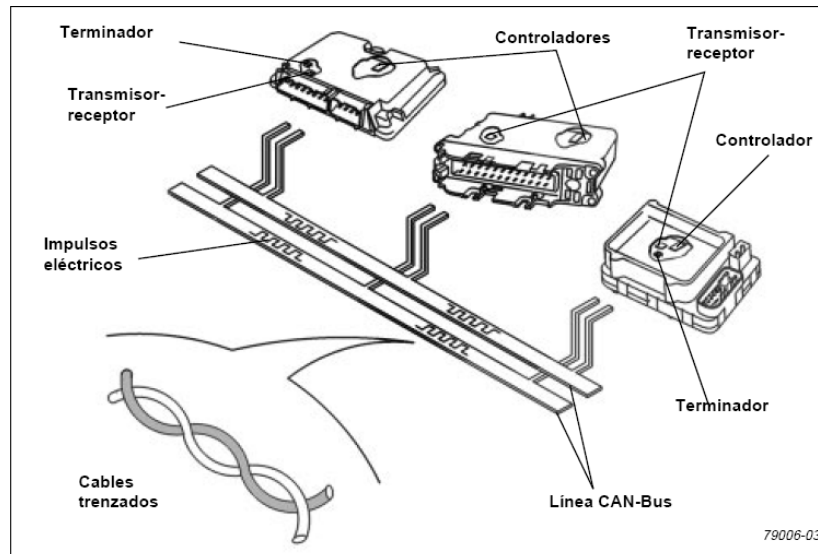
Está orientado al mensaje y no al destinatario ya que los mensajes son recibidos por todos los abonados pero utilizados sólo por los que los necesitan. La prioridad del mensaje en caso de transmisión simultánea se decide mediante su identificador. A menor número de identificador mayor prioridad. En los siguientes apartados se concretan más detalles acerca de los componentes físicos de la transmisión y del funcionamiento del protocolo.

### **1.1.2 Física de la transmisión**

Dependiendo de la velocidad de transmisión de datos, según la norma ISO 11898, los buses se clasifican en rápidos (*High Speed*), velocidad superior a 125Kbaudios y lentos (*Low Speed*), con velocidad inferior a 125Kbaudios. Recordar que el baudio es la unidad usada para medir la velocidad de transmisión de señales y corresponde a los bits transmitidos en un segundo, 1 baudio = 1bit/s. Para ambos tipos de buses, CAN trabaja con altas frecuencias y se rige por la física de las ondas o movimientos ondulatorios y, por tanto, se dan fenómenos de resonancias, difracciones, reflexiones, interferencias, etc. Por este motivo se requiere un estudio del área donde se implanta el bus para determinar sus parámetros físicos (longitud, recorrido, velocidad, valores de los terminadores, etc). Cualquier modificación de la arquitectura física (nuevos abonados, derivaciones, cables distintos, etc) supone la aparición de fenómenos que perturbarán el mensaje.

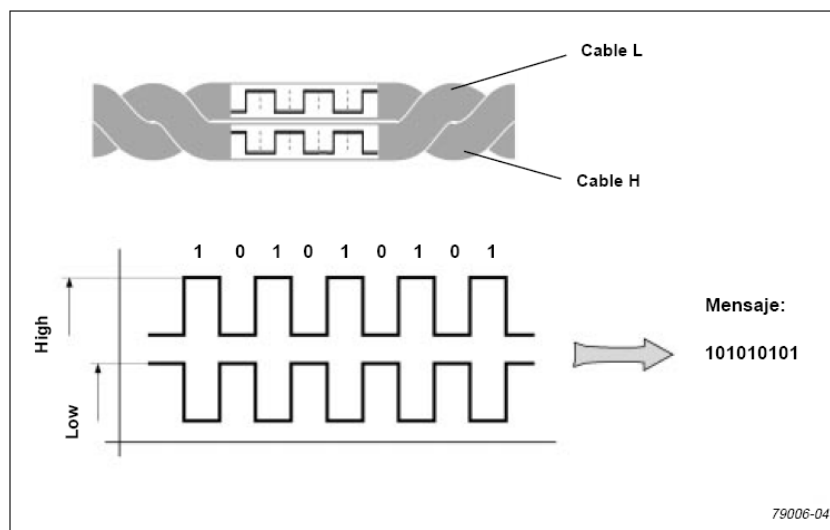
El sistema CAN de cualquier vehículo se compone de la *línea*, los *terminadores*, el *transmisor-receptor* y el *controlador*. Para disminuir la complejidad del sistema de comunicaciones del vehículo, éste se divide en varios buses, formando una arquitectura jerárquica, en la que las unidades de control se encuentran tan cerca como sea posible del actuador que controlan. Es posible disponer de hasta 32 abonados (transmisor-receptor) por bus.





**Fig. 1 Componentes físicos de un bus CAN**

La *línea* está formada por dos cables, *Low* y *High*, que forman la vía física por la que se comunican todos los abonados. Esta información se transmite por diferencia de tensión entre los dos cables y no respecto a un punto de tensión común. De esta manera se evitan los efectos perturbadores producidos por la inducción electrostática o electromagnética entre líneas CAN adyacentes o con las líneas de alimentación. Estos efectos perturbadores se incrementan al aumentar la velocidad de transmisión. Otra ventaja es la posibilidad de funcionar con los niveles de tensión de uno de los cables, interrumpiendo su funcionamiento sólo en el caso de rotura de ambos cables.



**Fig. 2 Línea CAN y modulación de los datos**

Para mejorar la protección se trenzan los dos cables con lo que se cancelan los campos magnéticos exteriores inducidos por la polaridad alterna de la línea CAN. Esto se debe a que si hay un fenómeno interferente afecta en un mismo punto por igual a los dos conductores y la diferencia de tensión se mantiene constante, es decir, afecta al modo común y no al diferencial.

La información circula en forma de impulsos eléctricos codificada usando una modulación en amplitud, es decir, un valor de tensión alto significa un valor lógico 1 y un valor de tensión bajos significa 0.

bit	Cable Low	Cable High	Tensión diferencial
'0'	2,25V	2,75V	0,5V
'1'	0V	5V	5V

Tabla 1 Valores típicos de tensión en el bus CAN

La longitud de los cables del bus está limitada en función de la velocidad de transmisión.

Los *terminadores* son resistencias eléctricas que se colocan uniendo los cables de la línea CAN en su extremo. Estas resistencias adaptan el circuito eléctrico y evitan fenómenos de reflexión que afectan a los datos transmitidos a altas frecuencias. El valor exacto de resistencia que minimiza las reflexiones se calcula de manera empírica. Se instalan en las dos unidades de control situadas en el extremo del bus.



Fig. 3 Terminadores en unidad de control

El *transmisor-receptor (transceiver)* es el elemento de la unidad de control encargado de preparar, recibir y transmitir los datos a la línea de bus CAN. Se encarga de acondicionar los niveles de tensión, amplificándolos para enviar o adaptándolos para que sean adecuados para el controlador al recibir.

En el proceso de preparación de los datos no modifica la secuencia lógica del mensaje. Presenta un consumo de corriente típico de 0,5<sup>a</sup> y se encuentra situado en el interior de todas las unidades de control conectadas al bus CAN. Las características del circuito integrado que actúa de transmisor-receptor vienen dadas también por la norma ISO 11899.

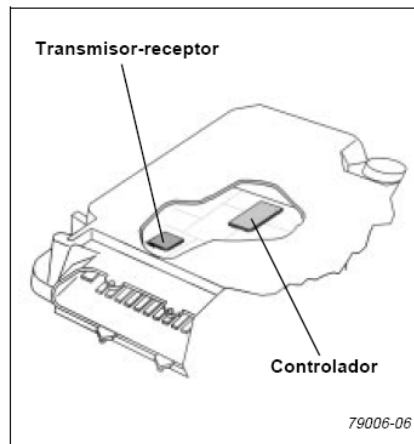


Fig. 4 Circuito integrado transmisor-receptor y controlador

El *controlador* gestiona los mensajes recibidos a través del bus CAN o bien los que recibe del microprocesador que han de ser enviados. Prepara los datos recibidos de la línea para pasarlos al microcontrolador de la unidad y recibe los datos del microprocesador que se han de transmitir. Determina la velocidad de transmisión de datos y está presente en cada una de las unidades de control abonadas a la línea de bus CAN.

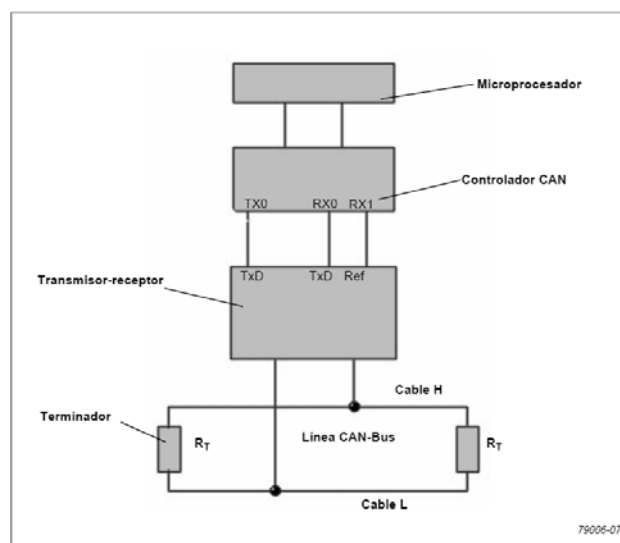


Fig. 5 Esquema eléctrico del nodo CAN de una unidad de control

### 1.1.3 Funcionamiento

El bus CAN es un protocolo de comunicación orientado al mensaje por lo que un mensaje volcado en el bus es leído por todas las unidades, y será procesado por las unidades interesadas en su contenido. Cada mensaje contiene un identificador que indica sus características, prioridad y procedencia.

El ciclo de transmisión de datos es el siguiente:

1. **Suministro de datos:** el microprocesador de la unidad de control proporciona los datos al controlador CAN y este los prepara para ser enviados (genera el mensaje, detallado más adelante).
2. **Transmisión del mensaje:** el transmisor-receptor recibe los datos (el mensaje) del controlador, los transforma en señales eléctricas y lo vuelca a la línea de bus CAN.
3. **Recepción del mensaje:** todas las estaciones conectadas reciben el mensaje.
4. **Análisis del mensaje:** las unidades de control abonadas analizan los datos del mensaje y determinan si son necesarios para la ejecución de sus funciones o no.
5. **Aceptación del mensaje:** las unidades de control que necesiten dicho mensaje aceptan y procesan los datos. El resto de unidades los desprecian. Este proceso se denomina filtrado de mensajes.

La Fig. 6 muestra un ejemplo del ciclo de transmisión. La unidad 2 desea mandar un mensaje de interés para las unidades 1 y 4.

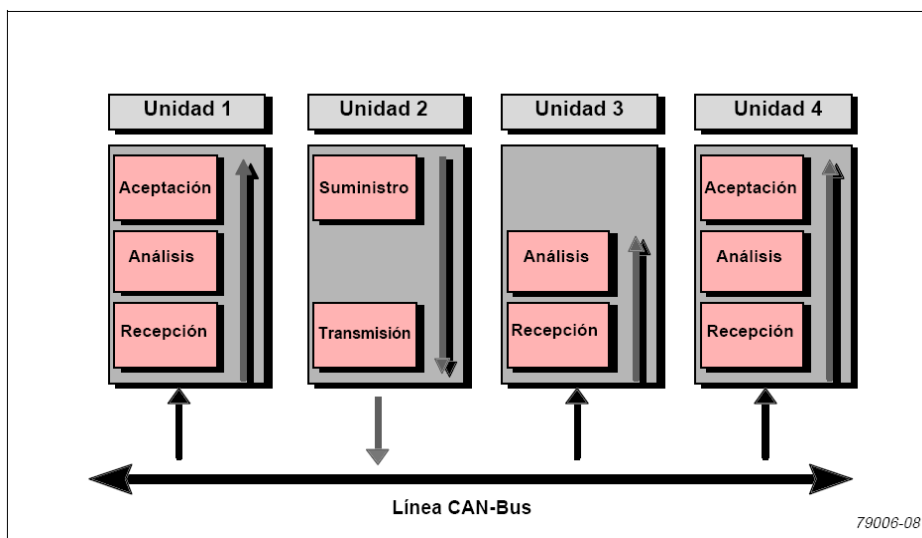


Fig. 6 Ejemplo del ciclo de transmisión CAN

El *mensaje* es la unidad de datos que contiene toda la información necesaria para la comunicación entre unidades de control. En el campo de datos del mensaje se encuentran las *señales*, que son la información útil a transmitir. En el automóvil, un mismo mensaje se transmite de forma cíclica con un período entre 10ms y 1000ms dependiendo de la dinámica del proceso y su importancia. Por ejemplo, el mínimo periodo es utilizado por los mensajes relativos al motor y el mayor por funciones de diagnóstico.

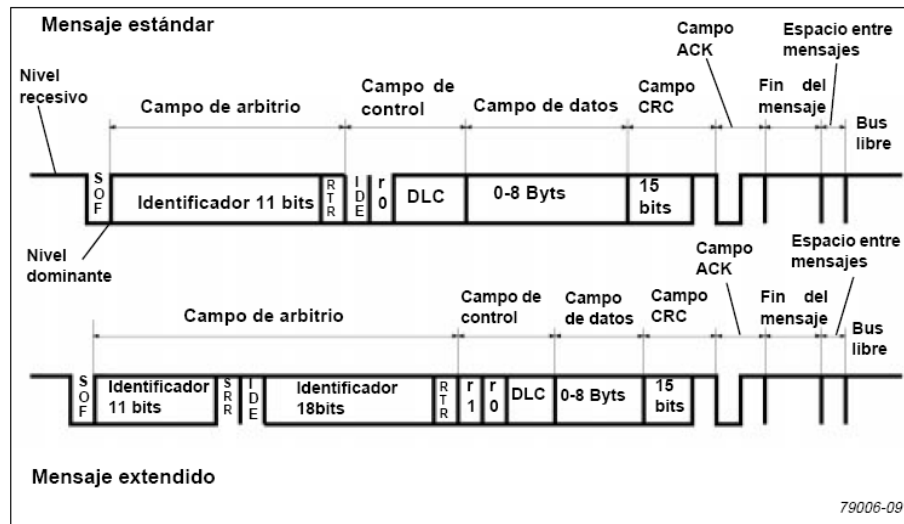


Fig. 7 Campos de un mensaje CAN estándar y extendido

El protocolo CAN 2.0 de Bosch soporta dos formatos de mensaje, la única diferencia entre ambos es la longitud del identificador (ID): en el formato estándar éste tiene una longitud de 11 bits y en el extendido de 29 bits. Ambos pueden coexistir en la misma red.

La estructura del mensaje se compone de 7 campos:

- **Campo de inicio:** el mensaje comienza con un bit dominante (SOF Start of Frame) que marca el inicio del mensaje y sincroniza todas las unidades de control del vehículo conectadas al bus.
- **Campo de arbitrio:** se compone del identificador de mensaje y el bit RTR (Remote Transmission Request). Mientras se transmite este campo, el transmisor-receptor escucha el canal para comprobar cada bit que envía. De esta manera comprueba si tiene autorización para transmitir o si hay otra unidad transmitiendo un mensaje de prioridad superior. El bit RTR indica si se transmite una estructura portadora de datos u otra estructura remota (sin campo de datos).

- **Campo de control:** contiene el bit IDE (Identifier Extension) el cual indica si se trata de un formato estándar o extendido. Un bit 'r0' reservado para futuras ampliaciones y el DLC (data length code) compuesto por 4 bits que indican el número de bytes que contiene el campo de datos.
- **Campo de datos:** contiene los datos que han de ser transmitidos dentro de un mensaje. Un bit o conjunto de bits con un significado común se denomina señal. Puede contener de 0 a 8 bytes (de 0 a 64 bits) de longitud.
- **Campo CRC:** es usado como un campo de comprobación para detectar bits erróneos. Tiene una longitud de 15 bits.
- **Campo ACK:** es un campo de dos bits, el espacio ACK (ACK slot) y el limitador ACK. El ACK slot es enviado como un bit recesivo es sobrescrito con un bit dominante por los transmisor-receptores que hasta ahora han recibido los datos correctamente. Es una señal de acuse de recibo de todas las unidades que han recibido el mensaje correctamente.
- **Final del mensaje:** o EOF (End Of Frame) es delimitado con una secuencia de 7 bits recesivos.
- **Espacio entre mensajes:** indica el mínimo número de bits que separan dos mensajes consecutivos distintos. Si no hay transmisión de alguna unidad de control la línea CAN se mantiene libre.

El sistema de *prioridad* en la transmisión del mensaje se basa en el identificador, que indica el orden en la que deben ser transmitidos los mensajes en el bus en el caso de coincidir dos o más al mismo tiempo. Tan pronto como la línea se queda libre, todas las unidades que lo deseen empiezan a transmitir su mensaje, pudiendo coincidir con otras unidades. El conflicto por el acceso al bus se resuelve mediante un arbitraje de bits no destructivo (NRZ) usando los identificadores de los mensajes. Todas las unidades monitorizan el bus bit a bit. Un bit dominante (0 lógico) sobrescribe un bit recesivo (1 lógico). El arbitraje se basa en este proceso, en el momento que hay un conflicto, perderán el acceso al bus las unidades que transmiten un bit recesivo cuando aparece un bit dominante. Este proceso se ejemplifica en la Tabla 2.

	ID	SOF	Identificador ID										
			10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
<b>Mensaje UCE 1</b>	410H	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<b>Mensaje UCE 2</b>	520H	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
<b>Mensaje UCE 3</b>	300H	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Bus CAN</b>	300H	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 2 Ejemplo del sistema de prioridad CAN

En el ejemplo anterior se observa como la UCE 1 pierde la prioridad en el bit 4 y la UCE 2 en el bit 5 frente a la UCE 3, que finalmente deposita su mensaje en el bus CAN.

Por norma general, la UCE transmisora es la que inicia la transmisión. También cabe la posibilidad que la UCE receptora solicite información mediante el envío de una estructura remota, es decir, un mensaje con el bit RTR activo y sin campo de datos.

Finalmente estudiaremos la *seguridad* del protocolo CAN 2.0, que consiste en tres mecanismos a nivel de mensaje y dos a nivel de bit.

A nivel de mensaje:

- **Comprobación cíclica redundante (CRC):** código de detección de errores que consiste en la adición de bits redundantes de comprobación al final de la transmisión calculados mediante una determinada regla. El receptor detecta un error si los bits recibidos no cumplen la regla.
- **Comprobación del mensaje:** comprobación de la validez de un mensaje mediante la verificación de los bits de cada campo con respecto al formato fijo de campos de bits y a la longitud de cada estructura de datos.
- **Errores ACK:** si el acuse de recibo no es recibido por la unidad transmisora del mensaje se produce un error ACK. Esto puede significar que hay un error de transmisión, que el campo ACK ha sido corrompido o que no hay unidades receptoras.

A nivel de bit:

- **Monitorización:** toda unidad que transmite también observa el bus, así que detectará un error si descubre un valor de bit diferente al transmitido. Existen dos excepciones; cuando el bit difiere por cuestiones de arbitraje al transmitir dos estaciones al mismo tiempo y cuando las unidades receptoras cambian el bit ACK de acuse de recibo.

- **Relleno de bits:** esta técnica consiste en la norma de que no puede haber más de cinco bits seguidos iguales entre el campo de inicio y final del mensaje. Si se han de transmitir, la unidad transmisora inserta automáticamente un bit de polaridad opuesta, que es eliminado por las receptoras (vaciado). Esta técnica evita el uso de las secuencias reservadas para el inicio y final del mensaje dentro de él y la detección de un error al detectar más de cinco bits iguales dentro del mensaje.

Si el controlador CAN de la unidad transmisora detecta un error interrumpe la transmisión y envía una bandera de error. Una bandera de error consiste en seis bits dominantes con el fin de violar el relleno de bits e indicar a las unidades receptoras que identifiquen el mensaje como erróneo. El bus necesita como máximo 31 periodos de bit para recuperarse después de la detección de un error. Pasado este periodo, se puede retransmitir el mensaje.

El protocolo CAN incluye mecanismos de detección de fallos en una unidad mediante las estadísticas de interrupción de mensajes de otras UCEs. La unidad puede llegar a desconectarse para evitar emitir continuamente mensajes de error y poder bloquear el bus. El software de las UCEs cuenta con funciones de diagnóstico para detectar y almacenar errores.



## **Anexo 2 Catálogo IDS Gigabit**

Durante los cálculos para la selección de la mejor cámara de visión industrial para nuestra aplicación se ha consultado el catálogo de cámaras Gigabit con sensor CMOS del fabricante IDS. La página consultada se adjunta a continuación.







## **Anexo 3 Planificación**

Las siguientes páginas muestran el diagrama de Gantt completo de la realización de este proyecto, es decir, de la fase de diseño del sistema automático de validación.

