



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE
TECNOLOGÍA DEL BUS CAN
(CONTROLLER AREA NETWORK)

TRABAJO MONOGRÁFICO
PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERO EN REDES.

PRESENTA
ALVARO FRANCISCO MANZANARES CAAMAL.

SUPERVISORES
DR. FREDDY IGNACIO CHAN PUC
DR. JORGE OVIDIO AGUILAR AGUILAR
DR. HOMERO TORAL CRUZ

SUPERVISORES SUPLENTES
DR. EMMANUEL TORRES MONTALVO
DR. GUILLERMO BECERRA NUÑEZ





UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TRABAJO MONOGRÁFICO TITULADO
"Análisis del estado actual de tecnología del Bus CAN (Controller Area Network)"

ELABORADO POR
ALVARO FRANCISCO MANZANARES CAAMAL

BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DEL PROGRAMA DE LICENCIATURA Y
APROBADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO EN REDES

COMITÉ SUPERVISOR

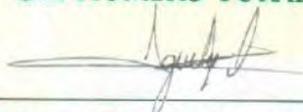
SUPERVISOR:


Dr. FREDDY IGNACIO CHAN PUC.

SUPERVISOR:


DR. HOMERO TORAL CRUZ.

SUPERVISOR:


DR. JORGE OVIDIO AGUILAR AGUILAR

SUPLENTE:


DR. EMMANUEL TORRES MONTALVO

SUPLENTE:


DR. GUILLERMO BECERRA NUÑEZ



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2020

DEDICATORIA

**A DIOS: Por haberme permitido llegar a este momento de mi vida y haberme
dado salud para lograr mis metas.**

**MI MADRE: Que me apoyo en todo momento y me dio las herramientas
necesarias para poder afrontar la vida.**

**MI FAMILIA: Que siempre estuvo apoyándome en los malos y buenos
momentos.**

A todos ellos Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis profesores que durante toda mi carrera universitaria no solo me hayan apoyado con su sabiduría y conocimiento, sino que también a no rendirme y seguir adelante.

A mi tutor de carrera al MSI. Rubén González Elixavide por darme ánimos de continuar.

A mi director de monografía al DR. Freddy Chan quien con sus conocimientos y su experiencia ha logrado que pueda terminar este trabajo de grado con éxito.

A todos ellos muchas Gracias.

Índice

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
Análisis del estado actual de tecnología de Bus CAN (Controller Área Network).	12
Capítulo 1: Contexto Histórico del CAN.	12
1.1: Cronología Histórica del Protocolo CAN.	14
1.2: Definición del protocolo Can.	14
1.3: Características del CAN.	16
1.4: Topología del CAN.	17
.....	17
Capítulo 2: Necesidad de la red CAN en el Automóvil	18
2.1: Campos de aplicación de las Redes CAN en el Automóvil	19
2.2: Electrónica de carrocería y de confort	20
2.2.1 Instrucciones de carga	20
2.2.2 Conectores y Cables	20
2.2.3 Conexión a la red CAN externa.	21
2.2.4 resistencias de terminación.	22
2.2.5 Validación de errores de comunicación.	23
2.2.6 Estado y valores de los parámetros.	24
2.2.7 Direcciones de origen.	24
Capítulo 3: Comunicación móvil	26
3.1: ¿Qué permite el can BUS?	26
3.2: Características	27
3.3: Componentes	27
3.3.1: CAN de alta velocidad	27
3.3.2: Extensiones del CAN de alta velocidad	28
3.3.3: CAN de baja velocidad tolerante a fallos	29
3.3.4: CAN FD	29
3.3.5: ¿Que es CAN FD?	30
3.3.6: ¿Cómo funciona CAN FD?	30
3.3.7: Dos desafíos clave	31
3.3.8: Ejemplos: Aplicaciones CAN FD	32

Capítulo 4: Estandarización	33
4.1: Medio de transmisión adaptable	34
4.2: Estructura definida	35
4.3: Recepción por Multidifusión (Multicast)	36
4.4: Medio Compartido (Broadcasting)	37
4.5: Detección y señalización de errores	37
4.5.1: Comportamiento en caso de Error	38
4.5.2: Confinamiento de fallos	38
4.5.3: Modos de Conexión	38
4.5.4: Detalles de la trama de error	39
Capítulo 5: Estructura de Capas del Protocolo CAN	40
5.1: Capa física	41
5.2: Medio físico	42
5.3: Componentes del medio físico	42
5.4: Componentes	43
5.5: Capa de Enlace	44
.....	45
5.6: Control de Enlace lógico “Logical Link Control LLC”	46
5.7: Control de Acceso al Medio “Medium Access Control MAC”	47
Capítulo 6: Tipos de tramas.	48
6.1: Trama de datos:	48
6.2: Trama de interrogación remota	48
6.3: Trama de error:	48
6.4: Trama de sobrecarga:	48
6.5: Espaciado inter-tramas:	48
6.6: Bus en reposo:	48
Capítulo 7: Formatos de Trama	49
7.1: Trama de Datos:	49
7.2: Inicio de transa (SOF):	49
7.3: Arbitraje:	49
7.4: Control:	49
7.5: Datos:	49
7.6: CRC	49
7.7: Campo de reconocimiento (ACK):	49
7.8: Fin de trama (EOF)	49
7.9: Espaciado entre tramas (IFS).	49

7.10: Trama remota:	50
7.10.1: Trama de error:	50
7.10.2: Espacio entre tramas:	50
7.10.3: Trama de sobrecarga:	51
7.10.4: Arbitraje:	51
Bibliografía:	53
Bibliografía de imágenes:	54

Índice de Imágenes

Ilustración 1: Funcionalidad del CAN Bus (Anon., 2015).....	11
Ilustración 2: Desarrollado por BOSCH (Anon., 2015).....	12
Ilustración 3: Marco clásico de CAN BUS (CSS, 2020)	13
Ilustración 4: CAN FD VS CAN 2.0 (DIGIKEY, 2019).....	14
Ilustración 5: Es un protocolo de comunicaciones normalizado, con lo que se simplifica y economiza la tarea de comunicar subsistemas de diferentes fabricantes sobre una red común o bus. (Anon., 2015).....	15
Ilustración 6: Una de las características es su cantidad de información. (Anon., 2015).....	16
Ilustración 7: Topología CAN BUS (Anon., 2015).....	17
Ilustración 8: Un bus es un sistema formado por elementos electrónicos (como cables y circuitos) que permiten la transferencia de información entre distintos componentes de un mismo hardware. (Anon., 2018)	18
Ilustración 9: Permite compartir información entre las unidades de control conectados al sistema provocando que el número de sensores empleados sea menor. (Anon., 2017).....	19
Ilustración 10: Topología de la red CAN Externa (Anon., 2017).....	21
Ilustración 11: Resistencia de Terminación. (Anon., 2017).....	22
Ilustración 12: Direcciones de origen predefinidas en el bus CAN externo (Anon., 2017).....	25
Ilustración 13: Direcciones de origen predefinidas en el bus CAN externo (Anon., 2017).....	25
Ilustración 14: Direcciones de origen predefinidas en el bus CAN externo: (Anon., 2017).....	25
Ilustración 15: El sistema CAN bus (Controller Area Network) permite a distintos dispositivos del vehículo poder intercambiar información entre ellos. (Anon., 2017)	26
Ilustración 16: CAN de alta velocidad (Anon., 2015).....	27
Ilustración 17: Extensiones del CAN de alta velocidad (Anon., 2015)	28
Ilustración 18: CAN de baja velocidad tolerante a fallos (Anon., 2015)	29
Ilustración 19: CAN FD ofrece 4 ventajas principales (Anon., 2020).....	30
Ilustración 20: # 1 Evite retrasos críticos en mensajes (Anon., 2020)	31
Ilustración 21: # 2 Mantenga longitudes prácticas de cables CAN (Anon., 2020)	31
Ilustración 22: Vehículos eléctricos (Anon., 2020).....	32
Ilustración 23: Robotics (Anon., 2020).....	32
Ilustración 24: Es un protocolo definido por las normas ISO (International Organization for Standardization) (Anon., 2020)	33
Ilustración 25: Cable CAN-Bus con Ethernet y alimentación (Anon., 2017)	35
Ilustración 26: Estructura definida (Anon., 2016).....	35
Ilustración 27: Multicast (Anon., 2015).....	36
Ilustración 28 Transmisión Broadcast. (Anon., 2015)	37
Ilustración 29: Topología en estrella. (Anon., 2015)	42
Ilustración 30 Componentes que forman el bus CAN (DIGIKEY, 2019).....	43
Ilustración 31: campo de comienzo del datagrama (Anon., 2015)	45
Ilustración 32: En el campo de estado (Anon., 2015)	45
Ilustración 33: En el campo de control (Anon., 2015).....	45
Ilustración 34: En el campo de datos (Anon., 2015)	45
Ilustración 35: El campo de aseguramiento (Anon., 2015).....	46
Ilustración 36: En el campo de confirmación (Anon., 2015).....	46
Ilustración 37: Con el campo de fin del datagrama (Anon., 2015)	46
Ilustración 38: Trama de datos CAN (Anon., 2011).....	52

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se hizo con la finalidad de conocer el protocolo CAN, inicialmente se realizó el estudio de los elementos básicos para conocer su estructura y el intercambio de información entre nodos, en la actualidad es un estándar muy importante en los automóviles ya que permite tener más funcionalidades no solo en la comodidad sino también en la detección de errores o fallas, al contar con una topología igual a la de una red de internet hace que la mayoría de sus componentes estén conectados, hoy en día gracias a este protocolo puedes saber desde el tablero de tu auto cuando te hace falta gasolina, cuando esta fundido un foco o cuando deseas girar hacia la derecha o izquierda, todas estas funcionalidades son gracias al protocolo CAN.

Como objetivo es conocer su funcionalidad dentro del entorno automovilístico, como viajan las tramas, la detección de errores, la señalización o banderas que utiliza dentro de los paquetes de información.

Palabras clave: Protocolo CAN, Tramas, estándar, Topología CAN.

ABSTRACT

This research work was carried out to know the CAN protocol, initially the study of the basic elements was carried out to know its structure and the exchange of information between nodes, nowadays it is a very important standard in automobiles since it allows more functionalities not only in comfort but also in the detection of errors or failures, since it has a topology equal to that of an internet network, making most of its components connected, nowadays thanks to this protocol you can know it from the dashboard your car when it needs gasoline, when a light bulb burns out or when it wants to turn to the right or left, all these characteristics are thanks to the CAN protocol.

The objective is to know its functionality within the automotive environment, how the panels travel, the detection of errors, the signaling or the flags that it uses within the information packages.

Key words: CAN protocol, frameworks, standard, CAN topology.

INTRODUCCIÓN

El protocolo CAN nace por la necesidad de sustituir el cableado que existía en los autos, ya que en ese entonces se manejaban de punto a punto, esto quiere decir que por cada unidad nueva integrada en el auto era necesario hacer un nuevo cableado y eso sin contar que cuando haya un fallo era difícil de encontrar debido al gran volumen de cableado que existía, por ello surge la necesidad de encontrar una solución a este problema.

El protocolo Can como red estándar de vehículos hace más fácil la comunicación debido a que es un par trenzado de cables de forma que todas las unidades control interconectadas a través del BUS puedan intercambiar y compartir informaciones, reduciéndose de forma significativa el volumen, peso y complejidad de la instalación eléctrica en los vehículos. El protocolo CAN, en la actualidad es el más utilizado para aplicaciones en sistemas de comunicación de datos de vehículos, siendo implementado de forma obligatoria desde el año 2008.

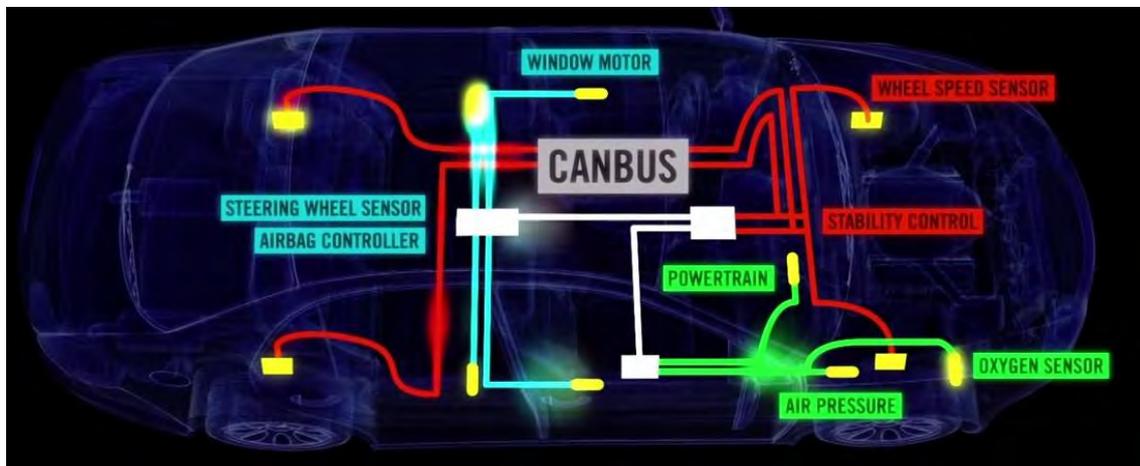


Ilustración 1: Funcionalidad del CAN Bus (Anon., 2015)

Análisis del estado actual de tecnología de Bus CAN (Controller Área Network).

Capítulo 1: Contexto Histórico del CAN.



Ilustración 2: Desarrollado por BOSCH (Anon., 2015)

Originalmente, CAN (*Controller Area Network*, por sus siglas en inglés) fue desarrollado por Bosch en 1985 para redes en vehículos.

CAN (*Controller Area Network*) es un protocolo de comunicaciones basado en una arquitectura de bus para transferencia de mensajes en ambientes distribuidos. Fue desarrollado por Bosch en los años 80 para estandarizar y reducir el costo y peso de los circuitos de control en los Motores Diesel.

Originalmente concebido para aplicaciones en el área automotriz, rápidamente despertó una creciente atención en el área de control y automatización industrial.

Las especificaciones CAN han sido revisadas y estandarizadas con el tiempo en diferentes secciones:

La norma ISO 11898-1 describe la 'capa de transmisión de datos CAN';

La ISO 11898-2 la 'capa física CAN no tolerante a fallos';

La ISO 11898-3 la 'capa física CAN tolerante a fallos'.

Los estándares de ISO 11992 (referente a la interfaz para camiones y remolques)

La ISO 11783 (referente a la maquinaria agrícola y forestal) definen los perfiles del uso de CAN basados en el US-protocol J1939.

El mensaje es una sucesión de bits "0" (dominante) y "1" (recesivo), representados por distintos niveles de tensión en los cables del CAN bus.

En un cable los valores de tensión oscilan entre 0v y 2.5v, se denomina cable L (Low) y en el otro, el cable H (High), varían entre 2.75v y 5v.

CAN utiliza mensajes de estructura predefinida para la gestión de la comunicación, denominados tramas. Se puede distinguir entre dos tipos de variantes de CAN, el definido en CAN 2.0A o CAN estándar y el definido en CAN 2.0B o CAN extendido. Los formatos de trama son idénticos, con la diferencia del identificador del mensaje: 11 bits en CAN estándar y 29 bits en CAN extendido. Las tramas de CAN son de longitud reducida y se dividen en los siguientes tipos:

- Trama de datos: Se usa para enviar datos entre los módulos.
- Trama de interrogación remota: se utilizada por un módulo para solicitar la transmisión de una trama de datos con la información implicada a un identificador dado.
- Trama de error: Se usa para comunicar errores en la red.
- Trama de sobrecarga: Introduce una pausa o retraso.
- Espaciado inter-tramas: Las tramas de datos se separan entre sí por una secuencia predefinida.
- Bus en reposo: En los intervalos de inactividad se mantiene constantemente el nivel recesivo del bus.

En un bus CAN los módulos transmiten la información, sin necesidad de una orden, con tramas de datos, bien sea por un proceso realizado con una frecuencia dada o activado ante algún suceso en el módulo.

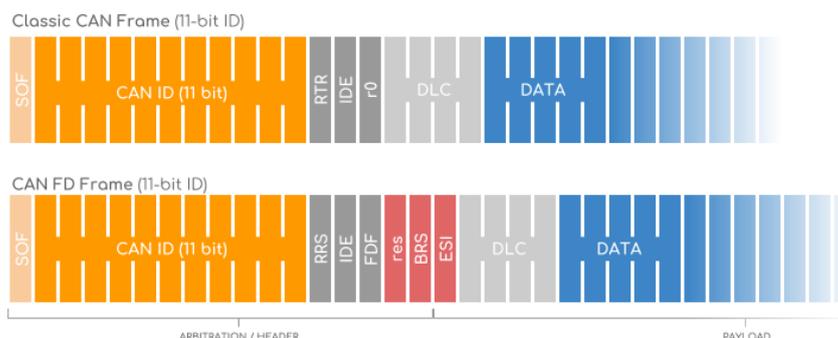


Ilustración 3: Marco clásico de CAN BUS (CSS, 2020)

1.1: Cronología Histórica del Protocolo CAN.

- La empresa Robert Bosh GmbH comienza el desarrollo del CAN en 1983.
- CAN fue lanzado oficialmente en 1986 en el congreso de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) en Detroit.
- En 1987 llegan al mercado los primeros controladores CAN desarrollados por Intel y Philips.
- Bosh en 1991 publica la versión del CAN 2.0 la cual se encuentra dividida en 2 partes, el formato estándar y el formato extendido.
- En el año 1993 se publica la ISO 11898 del bus can y a partir de este momento se convierte en un estándar de la Organización Internacional para la Normalización.
- CAN es uno de los cinco protocolos utilizados en el estándar de diagnóstico del vehículo de OBD-II (*On Board Diagnostics*), para autos y camiones ligeros vendidos en los Estados Unidos desde 1996, y el estándar EOBD(*European On Board Diagnostics*), para todos los vehículos de gasolina en la Unión Europea desde 2001 y todos los vehículos diésel desde 2004.
- Bosh en 2011 desarrolla la versión CAN FD (Flexible data-rate) esta nueva versión es compatible con su antecesor CAN 2.0 pero mejora la velocidad de transmisión de datos que hasta el momento era 1 Mbps.

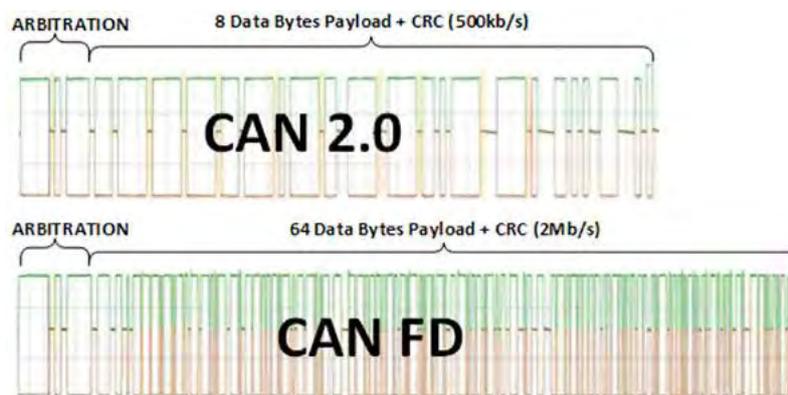


Ilustración 4: CAN FD VS CAN 2.0 (DIGIKEY, 2019)

1.2: Definición del protocolo Can.

CAN es un protocolo de comunicaciones basado en una arquitectura de bus para transferencia de mensajes en ambientes distribuidos.

Fue originalmente concebido para aplicaciones en el área automotriz, pero rápidamente despertó una creciente atención en el área de control y automatización industrial.

Entre sus fortalezas el bus CAN considera una arquitectura multi-maestro capaz de proveer características de respuesta en tiempo real y tolerancia a fallas en la recepción de mensajes y mal funcionamiento de los nodos.

Además, CAN está estructurado de acuerdo con el modelo OSI en una arquitectura colapsada de dos capas (esto es, capa física y capa de enlace de datos).

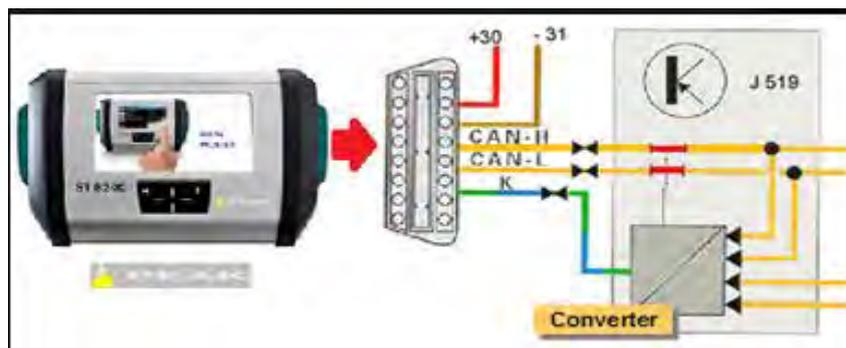


Ilustración 5: Es un protocolo de comunicaciones normalizado, con lo que se simplifica y economiza la tarea de comunicar subsistemas de diferentes fabricantes sobre una red común o bus. (Anon., 2015)

1.3: Características del CAN.

Al ser CAN un protocolo de comunicación serie basado en una topología bus para la transmisión de mensajes en ambientes distribuidos en tiempo real, significa que es idóneo también en aplicaciones de control y automatización industrial, con un alto nivel de seguridad y multiplexación.

- Cualquier nodo puede acceder al bus cuando el bus está desocupado
- Arbitraje NO destructivo a nivel de bits para permitir 100% el uso del ancho de banda, sin pérdida de datos.
- Prioridad de mensaje variable basado en identificadores de paquete de 11 bits (o 29 bits)
- Conexiones «Point to Point» y «multi-cast»
- Detección de errores, señalización y reenvío de mensajes completamente automático.
- Paquetes de datos de 8 bytes de longitud

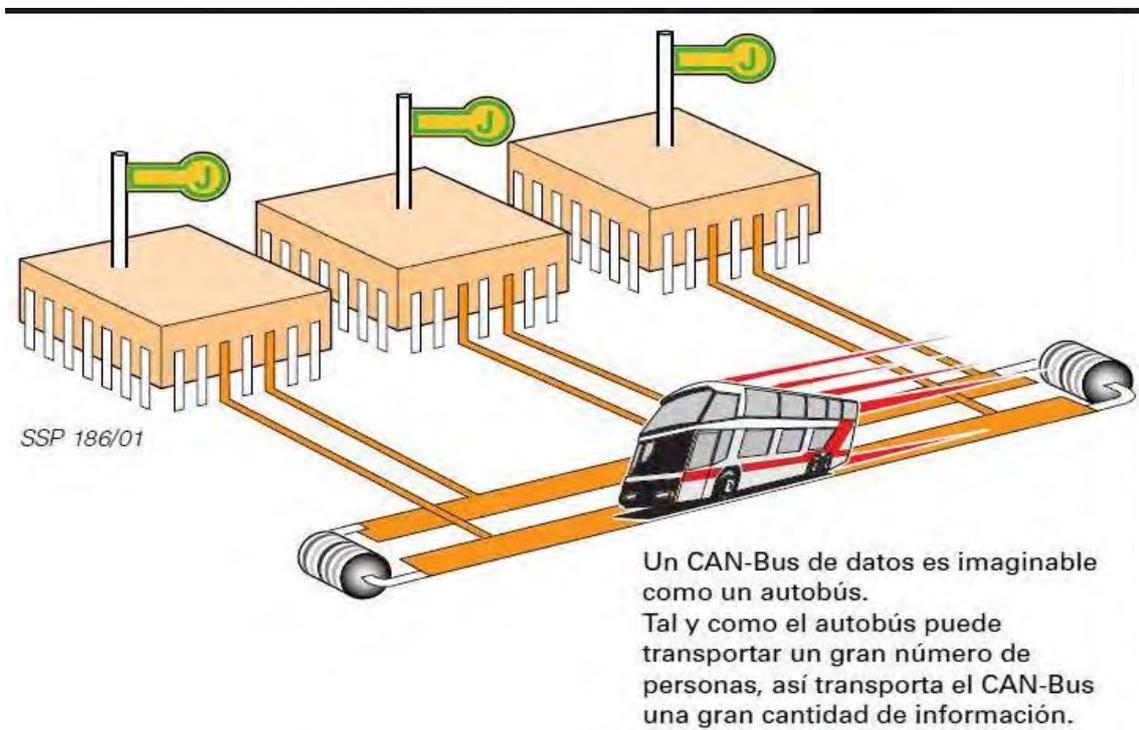
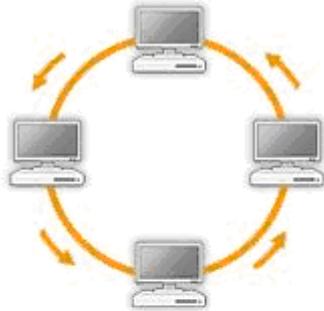


Ilustración 6: Una de las características es su cantidad de información. (Anon., 2015)

1.4: Topología del CAN.

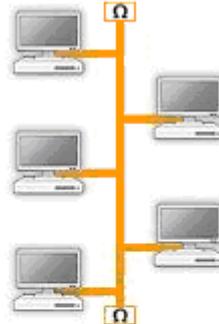
2 Topología en anillo

Ventajas e inconvenientes



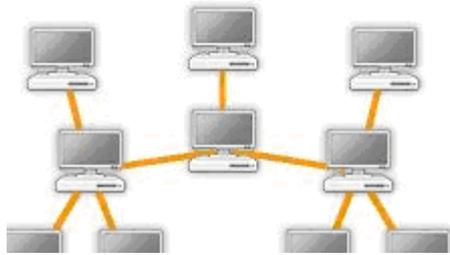
3 Topología en bus

Ventajas e inconvenientes



4 Topología en árbol

Ventajas e inconvenientes



5 Red en malla

Ventajas e inconvenientes

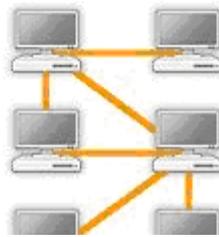


Ilustración 7: Topología CAN BUS (Anon., 2015)

Topología en BUS

Ventajas:

- El fallo de un ordenador no afecta al funcionamiento de la red.
- Menor costo de cableado.
- Fácilmente ampliable.
- No se precisan más aparatos para la transmisión.

Desventaja:

- Una avería en el cable de principal provoca la caída de toda la red
- Varios intercomunicadores no pueden enviar al mismo tiempo
- Menor aprovechamiento por el riesgo de colisión.

Capítulo 2: Necesidad de la red CAN en el Automóvil

Las computadoras a bordo del automóvil emiten información de las condiciones de funcionamiento a todos los demás sistemas. Esto permite mayor control del vehículo, por ejemplo: condiciones de frenado, selección de cambio de velocidades, monitoreo de sistema de carga, sistema de luces, entre otros.

Una de las características tangibles del sistema CAN BUS es la disposición de los cables por donde viaja la información en alta frecuencia, cuyo propósito es que cualquier variación de voltaje afecte a uno y al otro. Es entonces necesario el análisis de funcionamiento para dar servicio al sistema de inyección de gasolina, sistema de encendido electrónico, sistemas de suspensión controlada, sistema de emisiones de gases, entre otros.

Por estándar de fabricación cada uno los automóviles modernos cuentan con un conector de diagnóstico, el cual es el enlace a cualquier equipo de diagnóstico automotriz.

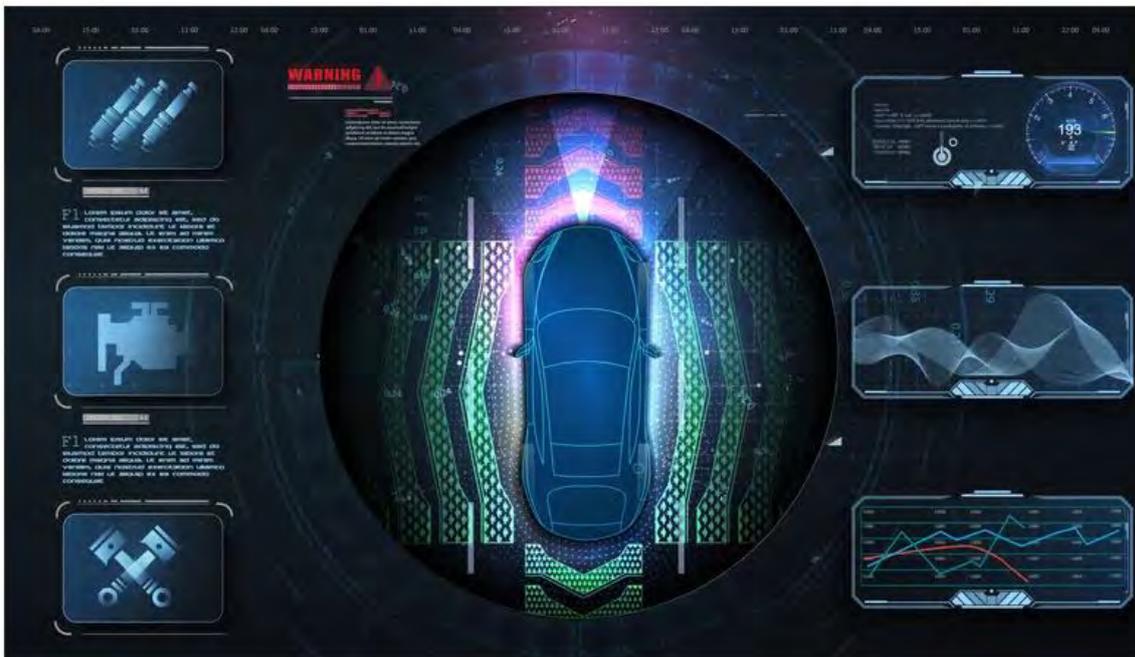


Ilustración 8: Un bus es un sistema formado por elementos electrónicos (como cables y circuitos) que permiten la transferencia de información entre distintos componentes de un mismo hardware. (Anon., 2018)

2.1: Campos de aplicación de las Redes CAN en el Automóvil

Pensemos en las evaluaciones eléctricas, el climatizador, el cierre centralizado, el techo solar, los asientos eléctricos, la centralita de la inyección y todos sus sensores, el cuadro de instrumentos, los mandos en el volante, los sistemas multimedia.

De hecho, tal es la cantidad de dispositivos que, en la actualidad, para garantizar la rapidez y robustez de las comunicaciones, no suele haber un solo bus CAN si no que hay varios sub-buses en el vehículo.

Un bus para la gestión electrónica del motor, otro para climatización y entretenimiento, otro para temas de seguridad (alarmas, cierre centralizado, ABS) etc.

Cualquier dispositivo electrónico conectado al bus puede mandar mensajes y el resto le escuchan. Cada tipo de mensaje lleva un identificador. Los oyentes deciden qué mensajes les interesan y cuáles no. Para que la cosa funcione, los dispositivos eléctricos se van turnando para "hablar" de uno en uno.

Otro uso de este protocolo es para los servicios de diagnóstico y la toma de datos del vehículo.

Los coches tienen un conector especial llamado OBD (*On Board Diagnostics*), que suele encontrarse debajo del volante. Este conector nos permite acceder a los buses CAN del automóvil. Con un adaptador podemos conectar un ordenador, *smartphone* o similar y así nos enteraremos de todo lo que sucede en el interior de nuestro coche.

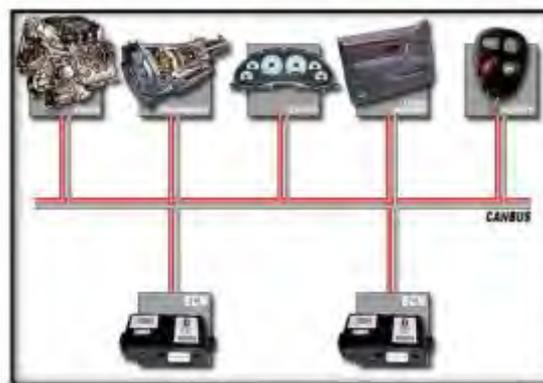


Ilustración 9: Permite compartir información entre las unidades de control conectados al sistema provocando que el número de sensores empleados sea menor. (Anon., 2017)

2.2: Electrónica de carrocería y de confort

Para control y regulación de componentes, por ejemplo: la regulación del aire acondicionado, cierre centralizado y ajuste de los asientos. Las velocidades de transmisión se sitúan entre 10 KBit/s y 125 125 KBit/s (Low- speed-CAN).

2.2.1 Instrucciones de carga

Las unidades de mando conectadas a un bus CAN deben ser capaces de asumir una carga del bus del 100%, transmitiendo los mensajes correctos sin ninguna reducción funcional importante o anomalía en el funcionamiento. En condiciones normales, la carga del bus CAN nunca debe superar el 80%. Evite circuitos de control a través de CAN, porque el tiempo de acceso garantizado es relativamente prolongado y los circuitos de control rápidos requieren mucha banda ancha. Si sigue siendo necesario contar con circuitos de control cerrado a través de CAN, estos deben ser perfectamente capaces de enviar los mensajes CAN necesarios a solo la mitad de la frecuencia de transmisión

2.2.2 Conectores y Cables

- Las propiedades eléctricas (resistencia, impedancia, capacidad, etc.) se definen en la norma SAE J1939-15 Physical Layer Light.
- La sección del cable es de 0,75 mm² en la cabina. Si el vehículo está equipado de fábrica con mazos de cables de empalme en el bastidor (familia de versión 2023), Deberán tener una sección de 1,5 mm².
- Fuera de la cabina, se deben utilizar conectores CAN y terminales ECU (Unidad de control electrónica) chapados en oro.
 - La CAN-high debe estar marcada como CAN_H y la CAN-low como CAN_L.
 - CAN-high debe ser azul y CAN-low blanco. Para evitar confusiones es importante que los cables sean de ese color durante toda la vida útil del vehículo.

2.2.3 Conexión a la red CAN externa.

La topología de la red CAN externa es principalmente un bus CAN con nodos conectados a una distancia de al menos 0,1 metros entre sí. La longitud del CAN bus no debe superar los 30 metros entre el conector C493 del vehículo y la unidad de mando con la otra resistencia de terminación. La distancia entre C493 (1) y C487 (2) debe ser de 6 metros en los vehículos con volante a la izquierda y de 8,5 en los vehículos con volante a la derecha. Si se conectan varias unidades de mando, la longitud de los cables que conectan la unidad de mando al bus CAN no debe superar los 3 metros. La longitud de los cables se debe mantener lo más corta posible para reducir al mínimo el efecto de la interferencia electromagnética. No debe haber más de 9 unidades de mando conectadas a la red CAN externa.

Pos	Denominación	Descripción
1	C493	Conector. Forma la interfaz de la red.
2	C487	
3	ECU X	Unidad de mando en la carrocería con resistencias de terminación.

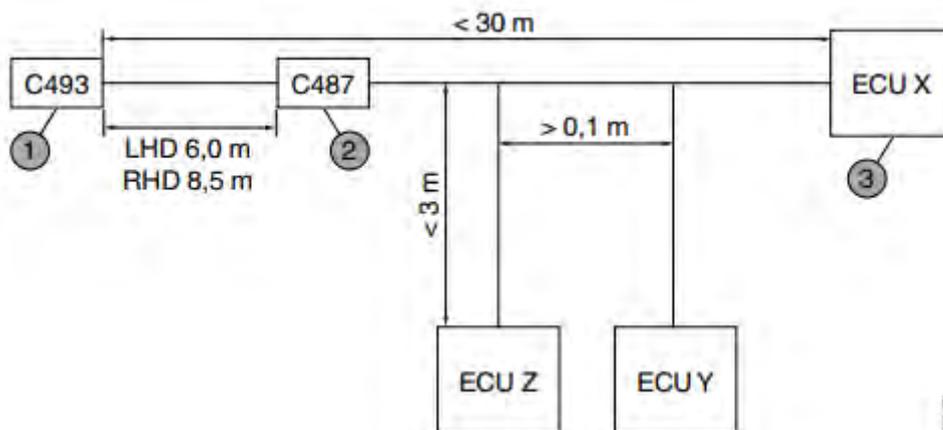


Ilustración 10: Topología de la red CAN Externa (Anon., 2017)

2.2.4 resistencias de terminación.

El bus CAN externo debe conectarse con una resistencia de terminación de 120 ohmios en cada extremo en conformidad con SAE J1939-15 Physical Layer. La unidad de mando de la carrocería (BCI) tiene una resistencia de terminación dividida formada por 2 resistencias (60 ohmios) y 1 condensador (100 nF), véase la figura. Debe haber también una resistencia de terminación en la unidad de mando que se encuentra más alejada de la unidad de mando de la carrocería (ECU X). Se recomienda una resistencia de terminación dividida. Si la unidad de mando más alejada de la unidad de mando de la carrocería no incluye una resistencia de terminación interna, la resistencia de terminación externa deberá conectarse lo más cerca posible de la unidad de mando (véase la ilustración).

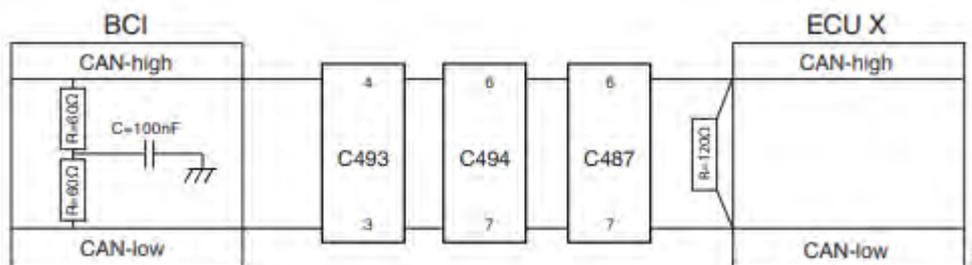


Ilustración 11: Resistencia de Terminación. (Anon., 2017)

2.2.5 Validación de errores de comunicación.

Evite la comunicación CAN cuando la llave de encendido esté en la posición de bloqueo o radio, ya que entonces no se podrá esperar que se confirmen los mensajes CAN. No se puede esperar ninguna comunicación de la unidad de mando de la carrocería.

Evítelo también durante la secuencia de inicialización de las unidades de mando que estén conectadas al bus CAN externo.

Durante el funcionamiento normal, cuando la llave de encendido está en la posición de conducción, no se debe validar un mensaje como ausente (time-out) sino antes de que transcurra un tiempo cinco veces superior al período del mensaje. Se permite un tiempo de validación de errores más prolongado.

Durante la secuencia de arranque del motor, cuando está girando el motor de arranque, la tensión de alimentación puede ser muy baja. Por eso no se puede garantizar la comunicación CAN desde la unidad de mando de la carrocería durante esta secuencia. Por este motivo no se registra ningún código de avería relativo a la comunicación CAN con la unidad de mando de la carrocería cuando la tensión del sistema sea menor a los 18 voltios.

Al girar la llave de encendido a la posición de conducción, la unidad de mando de carrocería comienza a enviar mensajes CAN a intervalos de 1000 ms. Los mensajes no se podrán considerar omitidos hasta que transcurran $1000 \text{ ms} + 5 \text{ veces el periodo de tiempo del mensaje}$. Por ejemplo: Si el tiempo de entrega de un mensaje es de 100 ms, no se puede considerar omitido hasta que hayan transcurrido $1000 + 5 \times 100 = 1500 \text{ ms}$. Se pueden establecer intervalos de validación de mayor duración.

2.2.6 Estado y valores de los parámetros.

- Los parámetros no enviados se deben enviar como NotAvailable/TakeNoAction. Aunque se detecte y valide una avería, el error se procesará como NotAvailable/ TakeNoAction.
- Si, por ejemplo, un sensor, interruptor o solenoide no está conectado a la ECU, el parámetro CAN debe contener el parámetro de estado NotAvailable/TakeNoAction. Este estado también debe utilizarse cuando hay una señal pendiente de validarse, por ejemplo durante la secuencia de inicialización de una unidad de mando.
- El parámetro Diagnóstico de la interfaz CAN externa controla si la unidad de mando BCI debe configurar los códigos de avería para la interfaz CAN externa.
 - El parámetro Interfaz de CAN externa controla si el bus de la CAN externa se activará o no.

2.2.7 Direcciones de origen.

La unidad de mando de la carrocería tiene una dirección de origen que no se puede configurar, 0xE6 (hex). Envía todos los mensajes con esta dirección de origen.

La dirección de origen 0xFE (hex), utilizada en la documentación CAN para este tipo de mensajes enviados por el carrocerero, solo se ofrece como ejemplo de dirección de origen que el carrocerero puede utilizar. Es importante que las direcciones de la lista no se utilicen.

Las direcciones de origen que aparecen en la siguiente tabla se utilizan para los mensajes enviados a través de la unidad de mando de la carrocería desde el bus CAN interno del vehículo al bus CAN externo. Las direcciones no deben ser utilizadas por otras unidades de mando de la red externa. Un uso incorrecto puede provocar conflictos y anomalías en el funcionamiento de la red CAN externa.

Sistema	Denominación	Dirección de origen (hex.)
A	Brake	0xB
AB	Air Bag	0x64
AL	Locking and Alarm System	0x1D
APS	Air Processing System	0x30
ATA	Air to Air Heater	0x44
AWD	Differential Lock Controller	0x04
BCI	Bodywork Communication Interface	0xE6

Ilustración 12: Direcciones de origen predefinidas en el bus CAN externo (Anon., 2017)

Sistema	Denominación	Dirección de origen (hex.)
CV	Converter Controller	0x43
E	Engine	0x0
F	Suspension Management	0x2F
ICL	Instrument Cluster	0x17
K	Coordinator	0x27
RD	Retarder	0x10
SC	Shift Selector Module	0x5
T	Gearbox	0x3
TCO	Tachograph	0xEE
TM	Tire Pressure Monitoring	0x33
V	Visibility System	0x1E
WTA	Water to Air Heater	0x45

Ilustración 13: Direcciones de origen predefinidas en el bus CAN externo (Anon., 2017)

Sistema	Denominación	Dirección de origen (hex.)
CV	Converter Controller	0x43
E	Engine	0x0
F	Suspension Management	0x2F
ICL	Instrument Cluster	0x17
K	Coordinator	0x27
RD	Retarder	0x10
SC	Shift Selector Module	0x5
T	Gearbox	0x3
TCO	Tachograph	0xEE
TM	Tire Pressure Monitoring	0x33
V	Visibility System	0x1E
WTA	Water to Air Heater	0x45

Ilustración 14: Direcciones de origen predefinidas en el bus CAN externo: (Anon., 2017)

Capítulo 3: Comunicación móvil

En la década de los 80, la alemana Bosch creó el **sistema CAN bus para coches**, del que Intel y Philips fueron los primeros fabricantes. Este sistema, basado en la interacción de elementos electrónicos como cables y circuitos, permite la **transferencia de información entre distintos componentes** de un mismo hardware.

Permiten comunicar componentes como el sistema de navegación GPS, celulares, o los equipos de audio con unidades centrales de indicación y mando. El objetivo consiste, agrupar informaciones de estado y control para poder conseguir que la distracción del conductor sea mínima.

Las velocidades de transmisión de los datos se sitúan hasta los 125 kBit/s; no obstante, sin ser posible la transmisión directa de datos de audio o vídeo.

3.1: ¿Qué permite el can BUS?

El sistema CAN bus (Controller Area Network) permite a distintos dispositivos del vehículo poder intercambiar información entre ellos. Por ejemplo, permite que los sensores de lluvia se comuniquen con los del limpiaparabrisas para activarlos, y estos a su vez con los sensores de los frenos para reducir la velocidad mientras se retira el agua del parabrisas. En este sentido, los avances de la conducción autónoma ya requieren y seguirán requiriendo del protocolo CAN para coordinar las infinitas funcionalidades que los coches más modernos vayan incorporando: geolocalización, alertas al conductor, sensores, radares, etc.

Conviene destacar que, al tener cada subsistema del coche su propia ECU (unidad de control electrónico), no es necesario disponer de un ordenador matriz (host) para hacer trabajar este sistema.



Ilustración 15: El sistema CAN bus (Controller Area Network) permite a distintos dispositivos del vehículo poder intercambiar información entre ellos. (Anon., 2017)

3.2: Características

- La información transmitida dentro del sistema se encuentra en código binario.
- El protocolo CAN descompone la información en mensajes, los cuales se identifican y encapsulan por separado para ser enviados por tramos.
- Es bidireccional (cada dispositivo es emisor y receptor de datos).
- Eliminar uno o más nodos no afecta al sistema CAN, ya que el resto siguen interconectados.
- Los mensajes se transmiten por orden de prioridad, siendo por ejemplo lo relacionado con el sistema ABS más importante que lo relacionado con el cambio automático.

3.3: Componentes

- Cable CAN bus de datos: Canal por donde fluye la información, compuesto por dos tipos de cables entrelazados (cable CAN-High, o H; y cable CAN-Low, o L).
- Elementos finales del bus de datos: Son las resistencias que se encuentran en los extremos de los cables H y L.
- Controlador CAN: Se encarga de acondicionar la información que se envía y se recibe entre la ECU y el transmisor-receptor.
- Transceptor CAN: Elemento que recibe y transmite la información.

3.3.1: CAN de alta velocidad

ISO 11898-2, también llamado CAN de alta velocidad, usa un único bus lineal terminado en cada extremo con sendas resistencias de 120 Ω . Es importante que el valor de las resistencias de terminación coincida con la impedancia característica del bus, definida en 120 Ω , para evitar reflexiones en la línea que podrían perturbar la comunicación. Con esta configuración la velocidad del bus es de un máximo de 1 Mbit/s.

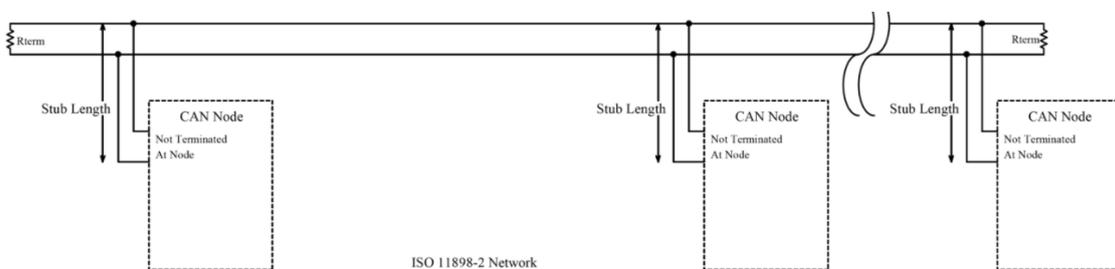


Ilustración 16: CAN de alta velocidad (Anon., 2015)

3.3.2: Extensiones del CAN de alta velocidad

La Organización Internacional para la Normalización (ISO) ha definido unas extensiones opcionales de la capa física del bus CAN de alta velocidad (ISO 11898-2). Dichas extensiones están descritas en sus respectivos estándares y son útiles para sistemas con requisitos específicos. También definen la compatibilidad con ISO 11898-2.

ISO 11898-5 especifica la capa física con tasas de transmisión de hasta 1 Mbit/s para sistemas que requieren bajo consumo de energía cuando no hay comunicaciones activas en el bus de datos. ISO 11898-5 representa una extensión de ISO 11898-2 y aquellas implementaciones que cumplan cualquiera de estas dos normas, es decir, los nodos CAN de alta velocidad con y sin bajo consumo de energía, son interoperables entre sí y pueden coexistir en la misma red.

ISO 11898-6 es una extensión de ISO 11898-2 y de ISO 11898-5. Esta extensión especifica la capa física de un bus CAN de hasta 1 Mbit/s, proporcionando un método selectivo de activación de nodos (wake-up) usando tramas CAN configurables. Las implementaciones de ISO 11898-6, ISO 11898-2 e ISO 11898-5 son interoperables y se pueden usar en una misma red simultáneamente.

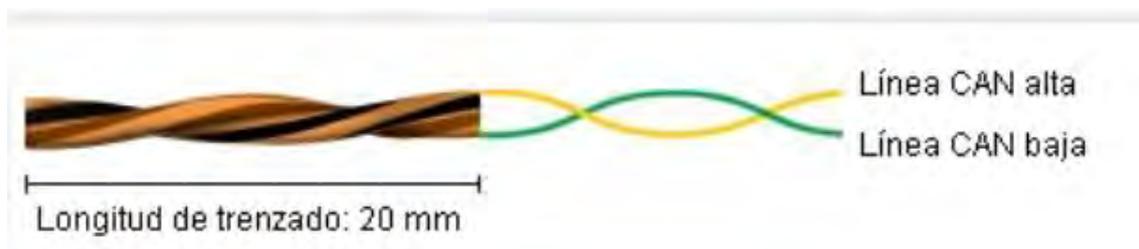


Ilustración 17: Extensiones del CAN de alta velocidad (Anon., 2015)

3.3.3: CAN de baja velocidad tolerante a fallos

ISO 11898-3, también llamado CAN de baja velocidad tolerante a fallos, puede utilizar un bus lineal, un bus en estrella o múltiples buses en estrella conectados por un bus lineal. El bus está terminado en cada nodo por una fracción de la resistencia de terminación total. La resistencia de terminación total debería ser un valor próximo a 100 Ω , pero no inferior a 100 Ω . Este estándar permite velocidades de hasta 125 kbit/s.

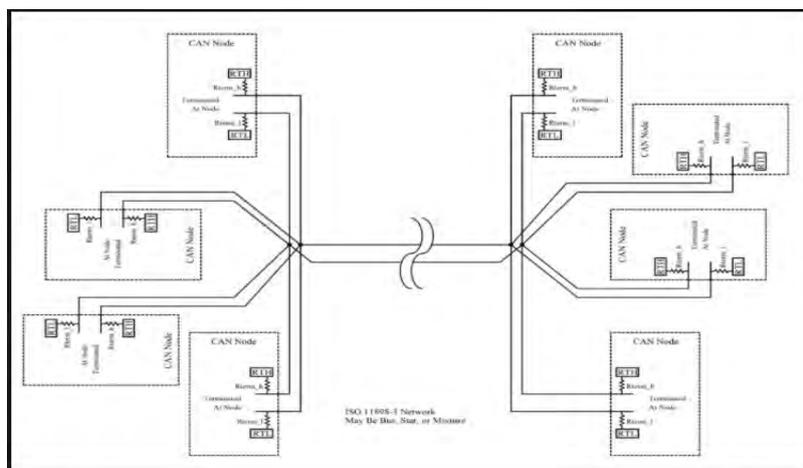


Ilustración 18: CAN de baja velocidad tolerante a fallos (Anon., 2015)

3.3.4: CAN FD

En 2011 Bosch comenzó a trabajar en una evolución del CAN. En 2012 lanzó CAN FD 1.0, que ofrece un aumento de la tasa de transferencia después del arbitraje. De momento (2015), sólo se ha definido la capa de enlace de datos del CAN FD. La frecuencia se puede multiplicar hasta por 8 y el número máximo de bytes por trama aumenta, siendo posible transmitir una mayor cantidad de datos en el mismo tiempo.⁴ La especificación está recogida en el borrador de norma ISO/DIS 11898-1:2015.

3.3.5: ¿Que es CAN FD?

#1 Mayor longitud CAN FD admite hasta 64 bytes de datos por trama de datos frente a 8 bytes de datos para CAN clásica. Esto reduce la sobrecarga del protocolo y conduce a una eficiencia mejorada del protocolo.

2 Mayor velocidad CAN FD admite tasas de bits duales: la tasa de bits nominal (arbitration) limitada a 1 Mbit / s como en CAN clásico, y la tasa de bits de datos, que depende de la topología / transceptores de la red. En la práctica, se pueden alcanzar velocidades de bits de datos de hasta 5 Mbit / s.

3 Mejor confiabilidad CAN FD utiliza una verificación de redundancia cíclica mejorada (CRC) y el "contador de bits de relleno protegido", que reducen el riesgo de errores no detectados. Esto es por ejemplo vital en aplicaciones críticas para la seguridad como vehículos y automatización industrial.

4 transición suave Las ECU CAN FD y Classical CAN solamente se pueden mezclar bajo ciertas condiciones. Esto permite una introducción gradual de nodos CAN FD, lo que reduce en gran medida los costos y la complejidad para los OEM.

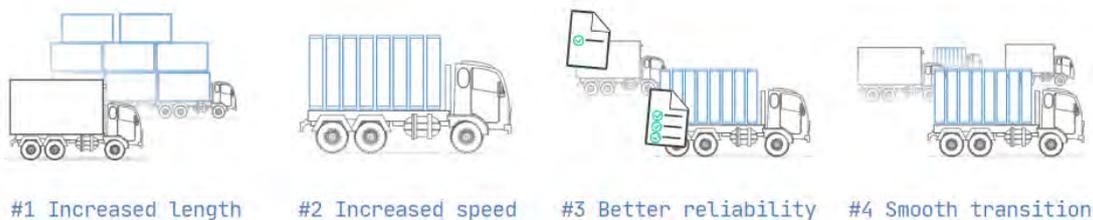


Ilustración 19: CAN FD ofrece 4 ventajas principales (Anon., 2020)

3.3.6: ¿Cómo funciona CAN FD?

Entonces, CAN FD parece bastante simple: acelerar la transmisión de datos y empaquetar más datos en cada mensaje, ¿verdad? En la práctica, sin embargo, no es tan sencillo. A continuación, se describen los principales desafíos que tuvo que resolver la solución CAN FD.

3.3.7: Dos desafíos clave

1 Evite retrasos críticos en mensajes ¿Por qué no empaquetar las tramas CAN clásicas con 64 bytes de datos?

Hacerlo reduciría los gastos generales y simplificaría la interpretación del mensaje. Sin embargo, si la tasa de bits no cambia, esto también bloquearía el bus CAN durante más tiempo, lo que podría retrasar las tramas de datos de mayor prioridad de misión crítica.

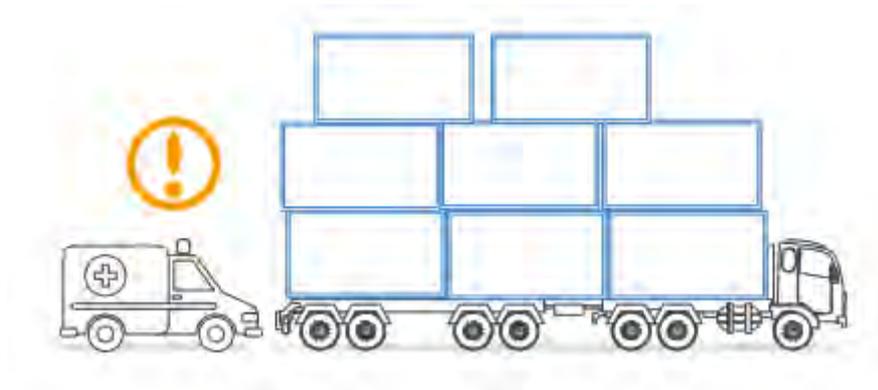


Ilustración 20: # 1 Evite retrasos críticos en mensajes (Anon., 2020)

2 Mantenga longitudes prácticas de cables CAN

Por lo tanto, se necesita más velocidad para enviar más datos por mensaje.

Pero, ¿por qué no acelerar todo el mensaje CAN (en lugar de solo la fase de datos)?

Esto se debe al "arbitraje": si más de 2 nodos transmiten datos simultáneamente, el arbitraje determina qué nodo tiene prioridad. El "ganador" continúa enviando (sin demora), mientras que los otros nodos "retroceden" durante la transmisión de datos.

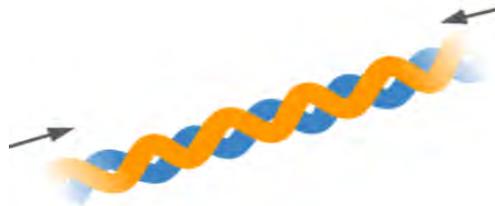


Ilustración 21: # 2 Mantenga longitudes prácticas de cables CAN (Anon., 2020)

3.3.8: Ejemplos: Aplicaciones CAN FD

En resumen, CAN FD permite que un sistema maneje más datos a un ritmo más rápido. Esto es vital para una serie de casos de uso cada vez más relevantes:

Los vehículos eléctricos y los híbridos utilizan nuevos conceptos de tren motriz que requieren velocidades de bits mucho más altas. La complejidad adicional proviene de las nuevas unidades de control relacionadas con el inversor CC / CC, la batería, el cargador, el extensor de rango, etc. Para 2025 se espera que la tasa de bits requerida exceda CAN, y con el aumento explosivo de los vehículos eléctricos, esto puede ser la punta de lanza del despliegue de CAN FD.

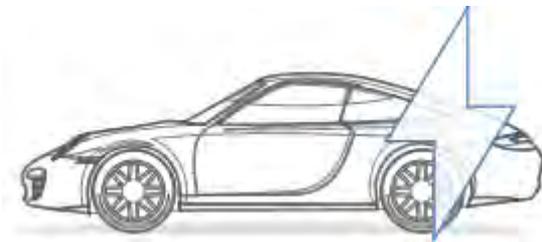


Ilustración 22: Vehículos eléctricos (Anon., 2020)

Varias aplicaciones se basan en un comportamiento sincronizado en el tiempo, p. Ej. Brazos robóticos con múltiples ejes. Dichos dispositivos a menudo usan CANopen y requieren que cada controlador envíe múltiples tramas CAN (PDO) sincronizadas en el tiempo (sin interrupción de las tramas de mayor prioridad). Al cambiar a CAN FD, los datos se pueden enviar en un solo cuadro para mayor eficiencia.

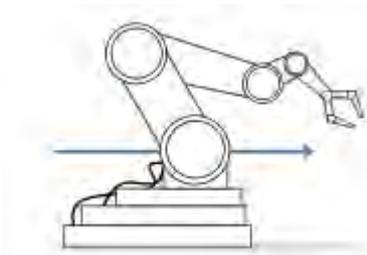


Ilustración 23: Robotics (Anon., 2020)

Capítulo 4: Estandarización

Es un protocolo definido por las normas ISO (International Organization for Standardization) específicamente en la ISO 11898, que describe los siguientes estándares aplicables a CAN:

- ISO 11898-1:2015, *Part 1: Data link layer and physical signalling*
- ISO 11898-2:2016, *Part 2: High-speed medium access unit*
- ISO 11898-3:2006. *Part 3: Low-speed, fault-tolerant, medium-dependent interface. Este estándar ha sido revisado y confirmado en 2015*
- ISO 11898-4:2004, *Part 4: Time-triggered communication. Este estándar ha sido revisado y confirmado en 2013*
- ISO 11898-5:2007, *Part 5: High-speed medium access unit with low power mode*
- ISO 11898-6:2013, *Part 6: High-speed medium access unit with selective wake-up functionality*
- ISO 16845:2016, *Conformance test plan*

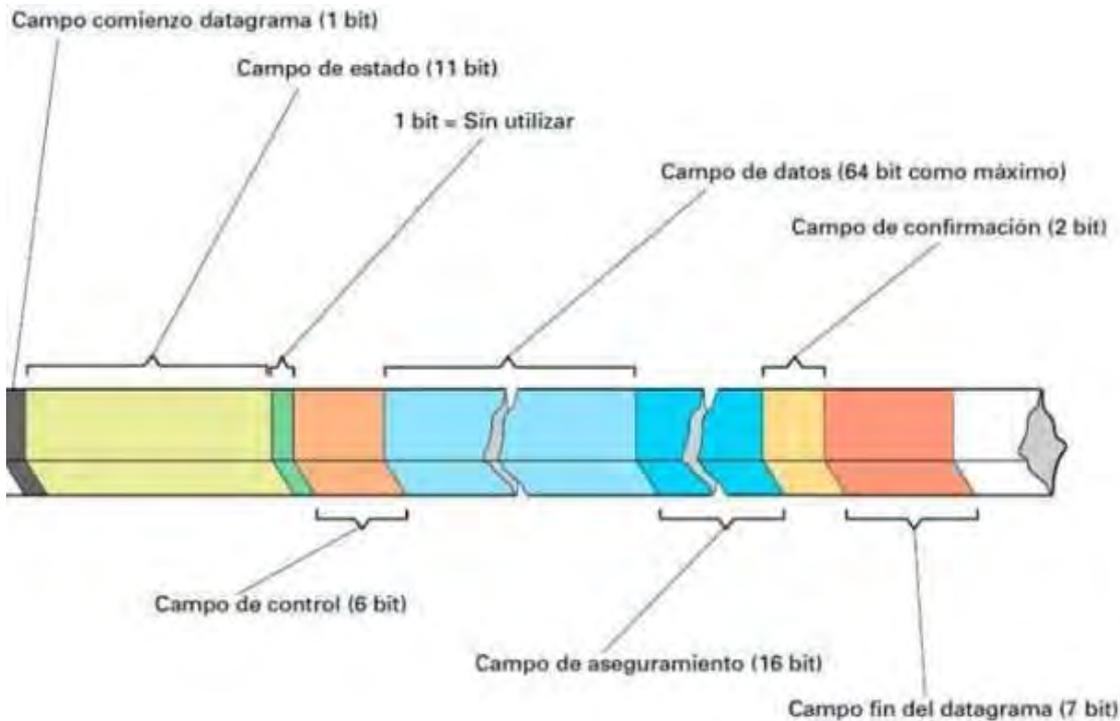


Ilustración 24: Es un protocolo definido por las normas ISO (International Organization for Standardization) (Anon., 2020)

4.1: Medio de transmisión adaptable

Cableado reducido a comparación de sistemas convencionales (punto a punto) siendo el estándar de transmisión un par trenzado.

El proceso de transmisión de datos se desarrolla siguiendo un ciclo de varias fases:

Proveer datos: Una unidad de mando recibe información de los sensores que tiene asociados (r.p.m. del motor, velocidad, temperatura del motor, puerta abierta, etc.)

Su microprocesador pasa la información al controlador, donde es gestionada y acondicionada para a su vez ser pasada al transmisor-receptor, donde se transforma en señales eléctricas.

Transmitir datos: El controlador de dicha unidad transfiere los datos y su identificador junto con la petición de inicio de transmisión, asumiendo la responsabilidad de que el mensaje sea correctamente transmitido a todas las unidades de mando asociadas. Para transmitir el mensaje ha tenido que encontrar el bus libre, y en caso de colisión o choque con otra unidad de mando intentando transmitir simultáneamente, tener una prioridad mayor. A partir del momento en que esto ocurre, el resto de unidades de mando se convierten en receptoras.

Recibir, revisar y adoptar datos: Cuando la totalidad de las unidades de mando reciben el mensaje, verifican el identificador para determinar si el mensaje va a ser utilizado por ellas. Las unidades de mando que necesiten los datos del mensaje lo procesan, si no lo necesitan, el mensaje es ignorado.

El sistema CAN Bus dispone además de mecanismos para detectar errores en la transmisión de mensajes, de forma que todos los receptores realizan un chequeo del mensaje analizando una parte del mismo, llamado campo de aseguramiento, que veremos más adelante. Otros mecanismos de control se aplican en las unidades emisoras que monitorizan el nivel del bus, la presencia de campos de formato fijo en el mensaje (verificación de la trama), análisis estadísticos por parte de las unidades de mando de sus propios fallos etc.

Estas medidas hacen que las probabilidades de error en la emisión y recepción de mensajes sean muy bajas, por lo que es un sistema la leche de seguro.

Este planteamiento del CAN Bus, como puedes ver, permite disminuir pero mucho el cableado en el automóvil, puesto que si una unidad de mando dispone de una información, como por ejemplo, la temperatura del motor, esta puede ser utilizada por el

resto de unidades de mando sin que sea necesario que cada una de ellas reciba la información de dicho sensor.



Ilustración 25: Cable CAN-Bus con Ethernet y alimentación (Anon., 2017)

4.2: Estructura definida

El mensaje es una sucesión de bits “0” (dominante) y “1” (recesivo), representados por distintos niveles de tensión en los cables del CAN bus. En un cable los valores de tensión oscilan entre 0v y 2.5v, se denomina cable L (Low) y en el otro, el cable H (High), varían entre 2.75v y 5v. CAN utiliza mensajes de estructura predefinida para la gestión de la comunicación, denominados tramas.

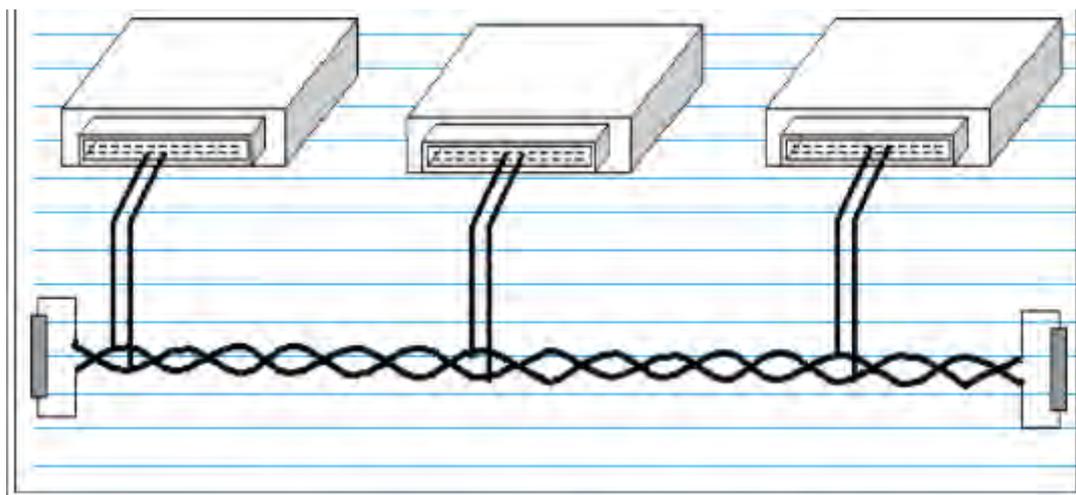


Ilustración 26: Estructura definida (Anon., 2016)

4.3: Recepción por Multidifusión (Multicast)

La multidifusión es una forma efectiva de controlar los nodos que trabajan sincrónicamente en el sistema de bus CAN.

El principio del filtro de aceptación de SJA1000 que funciona en modo PeliCAN se describe en detalle.

Se presenta un método para realizar una única transmisión, difusión y multidifusión en una red de bus CAN. Este método puede lograr que todos los cuadros de una sola pieza y cuadros de multidifusión sean filtrados por el controlador de bus CAN automáticamente sin la eliminación del software.

Este método puede simplificar el diseño de software de los nodos de bus CAN y mejorar en gran medida el rendimiento en tiempo real del sistema de aplicación.



Ilustración 27: Multicast (Anon., 2015)

4.4: Medio Compartido (Broadcasting)

Esto significa que todos los nodos pueden escuchar todas las transmisiones, no hay manera de enviar un mensaje a un nodo específico; todos los nodos, invariablemente, recogen todo el tráfico de mensajes. El hardware puede, sin embargo, proporcionar un filtrado local para que cada nodo reaccione a solo los mensajes de su interés.



Ilustración 28 Transmisión Broadcast. (Anon., 2015)

4.5: Detección y señalización de errores

Error de Bit: Cuando lo que está en el bus es diferente de lo que fue transmitido (propio nodo transmisor).

- Excepto cuando un bit recesivo fue transmitido
 1. Durante el arbitraje
 2. Durante la ranura de «ACK»
- Comprobación de redundancia cíclica (CRC)
- Verificación de trama (se verifica la estructura de la trama)
- Errores del «ACKNOWLEDGE» (ausencia de un bit dominante durante la ranura ACK).
- Monitoreo (cada nodo que transmite también observa el nivel de bus y así detecta diferencias entre el bit enviados y el bit recibido).
- Durante el «Relleno de bits» (verifica el cumplimiento de la regla de relleno.)
- Un marco es válido para un transmisor si no hay error hasta el final de la trama (EOF) y para un receptor si no hubo errores desde el siguiente hasta el último bit del EOF.

4.5.1: Comportamiento en caso de Error

- En caso de error durante el relleno de bits o durante el reconocimiento del bit de ACK «acknowledge»
 1. Se inicia o levanta una bandera de error durante el siguiente bit
- En caso de un error en el CRC (trama correcta pero información alterada)
 2. Se envía una trama de error después del «acknowledge»

4.5.2: Confinamiento de fallos

- Cada vez que se produce un error de recepción, el registro REC se incrementa
- Cada vez que una trama se recibe correctamente, el registro REC se decrementa
- Mismo mecanismo para los errores de emisión con el registro TEC
- Los valores de TEC y REC pueden desencadenar cambios de modo (... a continuación)

4.5.3: Modos de Conexión

Para hacer cumplir el confinamiento fallos, los nodos pueden exhibir un comportamiento en una de estas 3 modalidades:

- I. Error activo: Normalmente toma parte en la comunicación y puede enviar una trama de error (seis bits consecutivos dominantes) cuando detecta un error.
- II. Error pasivo: Participa en la comunicación, pero no debe enviar una trama de error activo. En lugar de ello, enviará una señal de error pasiva (seis bits consecutivos recesivos que no modifican el nivel del bus)
- III. Fuera del Bus: No se pueden enviar o recibir cualquier marco.
 - Un nodo es movido a este estado cuando existe una solicitud de alguna

entidad (nodo) con capacidades de supervisión de correcto funcionamiento del bus.

- Puede salir de este estado sólo por una instrucción directa del usuario

4.5.4: Detalles de la trama de error.

Dos campos: Bandera de error y delimitador de error:

- I. Bandera de error «Error Flag»
 - I. Activa: 6 bits dominantes.
 - II. Pasiva: 6 bits recesivos.
 - III. Como todos los nodos verifican el estado del bús y la bandera viola las reglas de relleno de bits, cada nodo generará a su vez su propia bandera de error. La bandera tendrá entonces una duración total de entre 6 a 12 bits.

- II. Delimitador de error «Error Delimiter»
 - I. 8 bits recesivos.
 - II. Después de enviar la bandera de error todos los nodos envían bits recesivos.
 - III. Tan pronto como un nodo detecta un bit recesivo, envía siete bits recesivos.

4.5.5: Recuperación de un Error

- Retransmisión automática
 - I. De todas las tramas que han perdido el arbitraje
 - II. De todas las tramas que han sido afectadas por errores durante su transmisión

Capítulo 5: Estructura de Capas del Protocolo CAN

El protocolo CAN está especificado en el estándar ISO 11898, el cual contiene diversas normas específicas para distintos aspectos del protocolo y diversos tipos de funcionamiento.

Por ejemplo, la norma ISO 11898-2 estandariza el protocolo CAN de alta velocidad, pudiendo alcanzar velocidades de hasta 1 MB/s, o la norma ISO 11898-3, que estandariza el protocolo CAN de baja velocidad tolerante a fallos.

Longitud del Bus	Velocidad en bit/s	Tiempo máximo de transmisión
Hasta 25 m	1 Mbit/s	129 μ s
Hasta 100 m	500 Kbit/s	258 μ s
Hasta 500 m	125 Kbit/s	1032 μ s
Hasta 1000 m	50 Kbit/s	2580 μ s

Un módulo CAN se compone de dos elementos básicos:

Controlador: Gestiona el montaje de las tramas CAN, comprobación de errores en la transmisión, o en otros nodos, así como de la detección de colisiones.

Transmisor / Receptor: También llamado transceptor. Este módulo es el encargado de la codificación y decodificación de los mensajes en el bus, sincronización, control de los niveles de la señal o del control de acceso al medio.

El controlador CAN, así como el transceptor, son módulos independientes de los nodos, lo que permite que éstos no tengan que destinar recursos en la gestión de las comunicaciones, acceso al medio o colisiones entre otros. A pesar de que algunos microcontroladores poseen módulos CAN en un único encapsulado, internamente son circuitos independientes en la mayoría de los casos.

Cualquier dispositivo conectado al bus puede mandar mensajes, y todos los nodos conectados al mismo lo recibirán. Para discriminar los tipos de mensajes, éstos llevan un identificador asociado. De este modo, cada nodo puede procesar los mensajes que le interesen o, por el contrario, descartarlos.

5.1: Capa física

La capa física en CAN es responsable de la transferencia de bits entre los distintos nodos que componen la red. Define aspectos como, niveles de señal, codificación, sincronización y tiempos en que los bits se transfieren al bus.

En la especificación original de CAN, la capa física no fue definida, permitiendo diferentes opciones para la elección del medio y niveles eléctricos de transmisión. Las características de las señales eléctricas en el bus fueron establecidas más tarde por el estándar ISO 11898.

Las definiciones respecto al medio físico y conectores. Los nodos conectados al bus interpretan dos niveles lógicos denominados:

- Dominante: la tensión diferencial (CAN_H - CAN_L) es del orden de 2.0 V con CAN_H = 3.5V y CAN_L = 1.5V (nominales).
- Recesivo: la tensión diferencial (CAN_H - CAN_L) es del orden de 0V con CAN_H = CAN_L = 2.5V (nominales).

Velocidad	Tiempo de Bit	Longitud Máxima
1 Mbps	1 μ S	30 m
800 Kbps	1.25 μ S	50 m
500 Kbps	2 μ S	100 m
250 Kbps	4 μ S	250 m
125 Kbps	8 μ S	500 m
50 Kbps	20 μ S	1000 m
20 Kbps	50 μ S	2500 m

Estos son valores orientativos que varían dependiendo de la tolerancia de los osciladores de los nodos, impedancias y retardos en la línea etc.

La topología es bus con derivaciones de corta longitud. Con pérdida de prestaciones en cuanto a velocidad o longitud máxima se pueden adoptar estructuras en estrella. El bus se cierra en los extremos con impedancias de carga.

El número máximo de nodos no está limitado por la especificación básica y depende de las características de los transceptores, las especificaciones de buses de campo lo limitan a 32 o 64 en una red sin repetidores.

5.2: Medio físico

El medio físico es una línea de bus de dos hilos con un retorno común que es terminada en ambos extremos por resistores que representan la impedancia característica de la línea. La longitud máxima es 1 kilómetro. Se permite utilizar los dispositivos puente o los repetidores para aumentar el número de los nodos del bus que pueden ser conectados, o para aumentar la distancia permitida entre los nodos del bus (p.ej. a más de 1 kilómetro), o para proporcionar el aislamiento galvánico (un dispositivo puente contiene por lo menos dos CAN-controllers y dos transceptores).

5.3: Componentes del medio físico.

Los cables del bus pueden ser paralelos, trenzados y/o blindado, dependiendo de requerimientos de la capacidad electromagnética. La topología del cableado debe estar tan cerca como sea posible a una sola estructura de línea, para reducir al mínimo las reflexiones. Los segmentos del cable para la conexión de los nodos del bus deben ser tan cortos como sea posible, especialmente en tasas altas de bit. La topología es bus con derivaciones de corta longitud. Con pérdida de prestaciones en cuanto a velocidad o longitud máxima se pueden adoptar estructuras en estrella.



Ilustración 29: Topología en estrella. (Anon., 2015)

5.4: Componentes

- Controlador. Es el encargado de gestionar todas las comunicaciones que se realizan a través del bus, y de acondicionar la información que entra y sale entre el microprocesador y el transmisor-receptor.
- Transceiver. Es transmisor y receptor. Se encarga de transformar los datos del controlador en señales eléctricas y transmitirlos sobre los cables del bus, del mismo modo recibe la información de los cables y la transforma para enviarla al controlador.
- Cables. Proporcionan el medio físico para llevar a cabo una comunicación bidireccional de datos en formato diferencial. Los cables se denominan CANH y CANL y establecen en los nodos los dos niveles lógicos.
- Resistencia final de bus. Suele ser de 120 Ω . Proporciona una impedancia controlada que protege de las interferencias por reflexiones de señal.

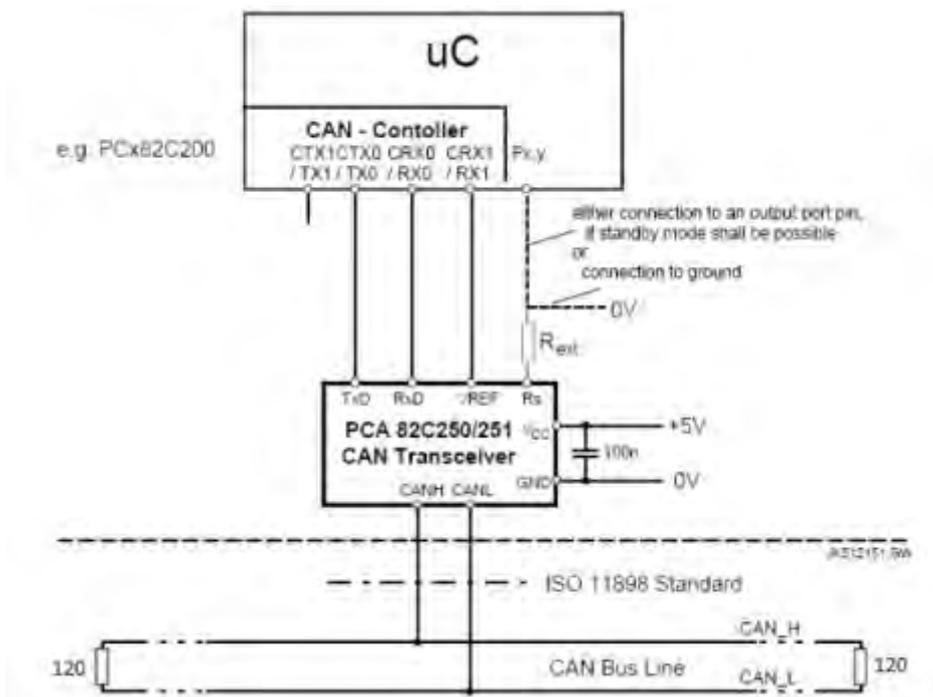


Ilustración 30 Componentes que forman el bus CAN (DIGIKEY, 2019)

5.5: Capa de Enlace

Una de las características que distingue a CAN con respecto a otras normas, es su técnica de acceso al medio denominada como CSMA/CD+CR o "Carrier Sense, Multiple Access/Collision Detection + Collision Resolution" (Acceso múltiple con detección de portadora, detección de colisión más resolución de colisión).

El acceso al medio por medio de técnicas de acceso múltiple y detección de colisión evolucionaron desde el método ALOHA inicial hasta su consagración como método de acceso al medio de las redes Ethernet, con técnica CSMA/CD.

El método de acceso al medio utilizado en bus CAN añade una característica adicional: la resolución de colisión. En la técnica CSMA/CD utilizada en redes Ethernet ante colisión de varias tramas, todas se pierden, CAN resuelve la colisión con la supervivencia de una de las tramas que chocan en el bus. Además, la trama superviviente es aquella a la que se ha identificado como de mayor prioridad.

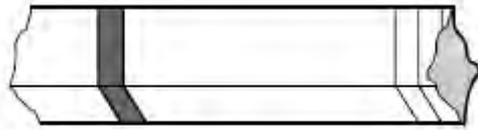
La resolución de colisión se basa en una topología eléctrica que aplica una función lógica determinista a cada bit, que se resuelve con la prioridad del nivel definido como bit de tipo dominante. Definiendo el bit dominante como equivalente al valor lógico '0' y bit recesivo al nivel lógico '1' se trata de una función AND de todos los bits transmitidos simultáneamente. Cada transmisor escucha continuamente el valor presente en el bus, y se retira cuando ese valor no coincide con el que dicho transmisor ha forzado. Mientras hay coincidencia la transmisión continua, finalmente el mensaje con identificador de máxima prioridad sobrevive. Los demás nodos reintentarán la transmisión lo antes posible.

Se ha de tener en cuenta que la especificación CAN de BOSH no establece cómo se ha de traducir cada nivel de bit (dominante o recesivo) a variable física. Cuando se utiliza un par trenzado según ISO 11898 el nivel dominante es una tensión diferencial positiva en el bus, el nivel recesivo es ausencia de tensión, o cierto valor negativo, (los transceptores no generan corriente sobre las resistencias de carga del bus).

Esta técnica aporta la combinación de dos factores muy deseados en aplicaciones industriales distribuidas: la posibilidad de fijar con determinismo la latencia en la transmisión de mensajes entre nodos y el funcionamiento en modo multimaestro sin necesidad de gestión del arbitraje, es decir control de acceso al medio, desde las capas de software de protocolo.

La prioridad queda así determinada por el contenido del mensaje, en CAN es un campo determinado, el identificador de mensaje, el que determina la prioridad.

El **campo de comienzo del datagrama** marca el comienzo del protocolo de enlace de los datos. En el cable CAN-High se transmite un bit con aprox. 5 voltios (en función del sistema) y en el cable CAN-Low se transmite un bit con aprox. 0 voltios.



SSP 186/09

Ilustración 31: campo de comienzo del datagrama (Anon., 2015)

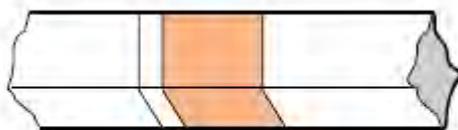
En el **campo de estado** se define la prioridad del protocolo. Si p. ej. Hay dos unidades de control que intentan transmitir simultáneamente su protocolo de datos, se concede la preferencia al protocolo de prioridad superior.



SSP 186/10

Ilustración 32: En el campo de estado (Anon., 2015)

En el campo de control: Se especifica la cantidad de información que está contenida en el campo de datos. De esa forma, cada receptor puede revisar si ha recibido la información completa.



SSP 186/11

Ilustración 33: En el campo de control (Anon., 2015)

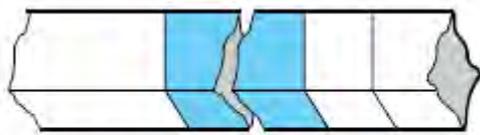
En el **campo de datos** se transmite la información para las demás unidades de control.



SSP 186/12

Ilustración 34: En el campo de datos (Anon., 2015)

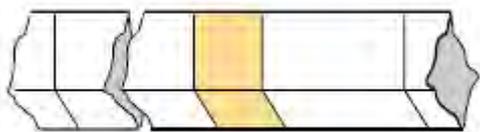
El **campo de aseguramiento** sirve para detectar fallos en la transmisión.



SSP 186/13

Ilustración 35: El campo de aseguramiento (Anon., 2015)

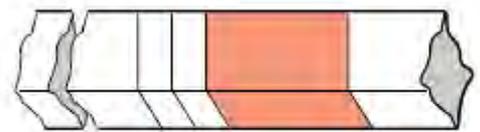
En el **campo de confirmación** los receptores señalizan al transmisor, que han recibido correctamente el protocolo de enlace de datos. Si detectan cualquier fallo, informan de inmediato al transmisor. A raíz de ello, el transmisor repite su transmisión.



SSP 186/14

Ilustración 36: En el campo de confirmación (Anon., 2015)

Con el **campo de fin del datagrama** finaliza el protocolo de datos. Es la última oportunidad posible para dar un aviso de error, que conduzca a una repetición.



SSP 186/15

Ilustración 37: Con el campo de fin del datagrama (Anon., 2015)

5.6: Control de Enlace lógico “Logical Link Control LLC”

Se encarga de los filtros de los mensajes, las notificaciones de sobrecarga y la administración de la recuperación. Además, proporciona servicios durante la transferencia de datos y decide que mensajes recibidos del Control de Acceso al Medio (MAC) son aceptados.

5.7: Control de Acceso al Medio “Medium Access Control MAC”

El protocolo CAN tiene otra característica denominada arbitraje, mediante la cual se controla el acceso al medio por parte de los nodos y se evitan posibles colisiones en las comunicaciones. Esta característica forma parte del control de acceso al medio implementado por el protocolo CAN, CSMA/CD+CR (Carrier Sense, Multiple Access/Collision Detection + Collision Resolution o Acceso Múltiple con detección de portadora, detección de colisión más Resolución de colisión)

En el bus, los bits dominantes equivalen al nivel lógico "0", y los bits recesivos al valor lógico "1". Al inicio de las tramas enviadas por los nodos, se encuentra un campo dedicado específicamente al arbitraje, que coincide con el identificador propio del nodo. Antes de transmitir, los nodos deben vigilar el bus durante un período en el que no puede haber actividad en él, tras esto, y cuando dos nodos tratan de transmitir de forma simultánea, los bits dominantes prevalecen sobre los bits recesivos, por lo que el nodo que trata de transmitir la trama con bits dominantes (número de identificación menor) es capaz de detectar la colisión con los bits recesivos (número de identificación mayor). Para que la detección de colisiones sea eficaz, los nodos deben tener una correcta sincronización, manteniendo las frecuencias de reloj de los controladores CAN dentro de los valores tolerados.

El nodo que detecta la colisión deja de transmitir inmediatamente y espera hasta finalizar la comunicación del otro nodo para intentarlo de nuevo.

Capítulo 6: Tipos de tramas.

6.1: Trama de datos: la que un nodo utiliza normalmente para poner información en el bus (siempre es un "broadcast" a todos los demás nodos). Puede incluir entre 0 y 8 Bytes de información útil.

6.2: Trama de interrogación remota (en lo que sigue se denominará trama remota ("remote frame"): puede ser utilizada por un nodo para solicitar la transmisión de una trama de datos con la información asociada a un identificador dado. El nodo que disponga de la información definida por el identificador la transmitirá en una trama de datos.

6.3: Trama de error: usadas para señalar al resto de nodos la detección de un error, invalidando el mensaje erróneo normalmente (un caso especial es un nodo en estado de "error pasivo")

6.4: Trama de sobrecarga: permite que un nodo fuerce a los demás a alargar el tiempo entre transmisión de tramas sucesivas

6.5: Espaciado inter-tramas: Las tramas de datos (y de interrogación remota) se separan entre sí por una secuencia predefinida que se denomina espaciado inter-trama.

6.6: Bus en reposo: En los intervalos de inactividad se mantiene constantemente el nivel recesivo del bus.

En un bus CAN los nodos transmiten la información espontáneamente con tramas de datos, bien sea por un proceso cíclico o activado ante eventos en el nodo.

La trama de interrogación remota sólo se suele utilizar para detección de presencia de nodos o para puesta al día de información en un nodo recién incorporado a la red.

Los mensajes pueden entrar en colisión en el bus, el de identificador de mayor prioridad sobrevivirá y los demás son retransmitidos lo antes posible.

Capítulo 7: Formatos de Trama

7.1: Trama de Datos: Una trama de datos es generada por un nodo CAN cuando transmite información. Los campos incluidos en una trama de datos son para CAN Estándar.

7.2: Inicio de trama (SOF): El inicio de trama es un campo de un solo bit siempre dominante que indica el inicio de la transmisión. Los nodos receptores se sincronizan con el flanco de bajada de este bit.

7.3: Arbitraje: El campo de identificación está formado por el identificador de mensaje (11 bits) más el bit RTR. En una trama de datos el bit RTR es dominante. En una trama remota es recesivo. Los bits de identificador se transmiten en orden de más significativo a menos significativo.

7.4: Control: El campo de control está formado por dos bits reservados para uso futuro y cuatro bits adicionales que indican el número de bytes de datos. En realidad, el primero de estos bits (IDE) se utiliza para indicar si la trama es de CAN Estándar (IDE dominante) o Extendido (IDE recesivo). El segundo bit (RB0) es siempre recesivo. Los cuatro bits de código de longitud (DLC) indican en binario el número de bytes de datos en el mensaje (0 a 8)

7.5: Datos: Es un campo formado por 0 a 8 bytes de datos, es decir 0 a 64 bits en saltos de 8. Cada byte se transmite con bit más significativo primero.

7.6: CRC Código de redundancia cíclica que genera el transmisor por la división módulo 2 de todos los bits precedentes del mensaje, incluyendo los de relleno si existen, por el polinomio generador: $X^{15} + X^{14} + X^8 + X^7 + X^4 + X^3 + X^1 + 1$, el resto de esta división es el código CRC transmitido. Los receptores comprueban este código. Tras el código CRC se incluye un bit recesivo (delimitador de CRC)

7.7: Campo de reconocimiento (ACK): es un campo de dos bits que el transmisor pone como recesivos. El primero de estos bits se sobrescribe por un bit dominante de reconocimiento transmitido por los nodos que han recibido el mensaje correctamente. El bit de ACK queda así insertado entre dos bits dominantes de delimitación.

7.8: Fin de trama (EOF). Cierra la trama, consiste en 7 bits recesivos sucesivos.

7.9: Espaciado entre tramas (IFS). Consta de un mínimo de 3 bits recesivos.

7.10: Trama remota: El formato es análogo a la trama de datos, pero con el bit RTR recesivo. Por otra parte, una trama remota no incluye nunca datos. El identificador es el del mensaje que se solicita, el campo longitud corresponde a la longitud de ese mensaje.

7.10.1: Trama de error: Las tramas de error son generadas por cualquier nodo que detecta un error. Consiste en dos campos: Indicador de error ("Error Flag") y Delimitador de error. El delimitador de error consta de 8 bits recesivos consecutivos y permite a los nodos reiniciar la comunicación limpiamente tras el error. El Indicador de error es distinto según el estado de error (los estados de error de nodo se describirán en páginas sucesivas) del nodo que detecta el error:

Si un nodo en estado de error "Activo" detecta un error en el bus interrumpe la comunicación del mensaje en proceso generando un "Indicador de error activo" que consiste en una secuencia de 6 bits dominantes sucesivos. Esta secuencia rompe la regla de relleno de bits y provocará la generación de tramas de error en otros nodos. Por tanto el Indicador de error puede extenderse entre 6 y 12 bits dominantes sucesivos. Finalmente se espera el campo de delimitación de error formado por los 8 bits recesivos. Entonces la comunicación se reinicia y el nodo que había sido interrumpido reintenta la transmisión del mensaje.

Si un nodo en estado de error "Pasivo" detecta un error, el nodo transmite un "Indicador de error pasivo" seguido, de nuevo, por el campo delimitador de error. El indicador de error de tipo pasivo consiste en 6 bits recesivos seguidos y, por tanto, la trama de error para un nodo pasivo es una secuencia de 14 bits recesivos. De aquí se deduce que la transmisión de una trama de error de tipo pasivo no afectará a ningún nodo en la red, excepto cuando el error es detectado por el propio nodo que está transmitiendo. En ese caso los demás nodos detectarán una violación de las reglas de relleno y transmitirán a su vez tramas de error.

Tras señalar un error por medio de la trama de error apropiada cada nodo transmite bits recesivos hasta que recibe un bit también recesivo, luego transmite 7 bits recesivos consecutivos antes de finalizar el tratamiento de error.

7.10.2: Espacio entre tramas.

El espacio entre tramas separa una trama (de cualquier tipo) de la siguiente trama de datos o interrogación remota. El espacio entre tramas ha de constar de, al menos, 3 bits recesivos. Esta secuencia de bits se denomina "intermission". Una vez transcurrida esta secuencia un nodo en estado de error activo puede iniciar una nueva transmisión o el bus permanecerá en reposo. Para un nodo en estado error pasivo la situación es

diferente, deberá esperar una secuencia adicional de 8 bits recesivos antes de poder iniciar una transmisión. De esta forma se asegura una ventaja en inicio de transmisión a los nodos en estado activo frente a los nodos en estado pasivo.

7.10.3: Trama de sobrecarga.

Una trama de sobrecarga tiene el mismo formato que una trama de error activo. Sin embargo, la trama de sobrecarga sólo puede generarse durante el espacio entre tramas. De esta forma se diferencia de una trama de error, que sólo puede ser transmitida durante la transmisión de un mensaje. La trama de sobrecarga consta de dos campos, el Indicador de Sobrecarga, y el delimitador. El indicador de sobrecarga consta de 6 bits dominantes que pueden ser seguidos por los generados por otros nodos, dando lugar a un máximo de 12 bits dominantes. El delimitador es de 8 bits recesivos.

Una trama de sobrecarga puede ser generada por cualquier nodo que debido a sus condiciones internas no está en condiciones de iniciar la recepción de un nuevo mensaje. De esta forma retrasa el inicio de transmisión de un nuevo mensaje. Un nodo puede generar como máximo 2 tramas de sobrecarga consecutivas para retrasar un mensaje. Otra razón para iniciar la transmisión de una trama de sobrecarga es la detección por cualquier nodo de un bit dominante en los 3 bits de "intermission". Por todo ello una trama de sobrecarga generada por un nodo dará normalmente lugar a la generación de tramas de sobrecarga por los demás nodos dando lugar, como se ha indicado, a un máximo de 12 bits dominantes de indicador de sobrecarga.

7.10.4: Arbitraje

Un nodo transmisor monitoriza constantemente el estado del bus. Durante la transmisión del campo Arbitraje la detección de un bit dominante, cuando el bit transmitido ha sido recesivo, hace que el nodo detenga la transmisión y pase a recepción de la trama. De esta forma no hay pérdida de información y no se destruye por colisión ninguna trama de datos o remota. La especificación Bosh admite para CAN Standard los identificadores en el rango 0x000 a 0x7EF. En dicha especificación se indica que los 7 bits más significativos no han de ser todos recesivos. Sin embargo, muchos controladores admiten el rango 0x000 a 0x7FF, Un mensaje de máxima prioridad utilizará, por tanto, el identificador 0x000.

En un bus único un identificador de mensaje ha de ser asignado a un solo nodo concreto, es decir, se ha de evitar que dos nodos puedan iniciar la transmisión simultánea de mensajes con el mismo identificador y datos diferentes. La filosofía CAN es que un mensaje es único en el sistema. Las tramas remotas con identificador concreto que puedan ser generadas por cualquier nodo han de coincidir en cuanto al campo longitud,

Resumiendo, definiendo un mensaje como el conjunto identificador + longitud de campo de datos + semántica de estos datos, el mensaje ha de ser único en el sistema y estar asignado a un nodo concreto. Así, por ejemplo, si en un automóvil existe la variable "presión de aceite" esta variable ha de ser transmitida por un nodo concreto, con un identificador concreto, con longitud fija y consistente con la codificación de la información en el campo de datos.

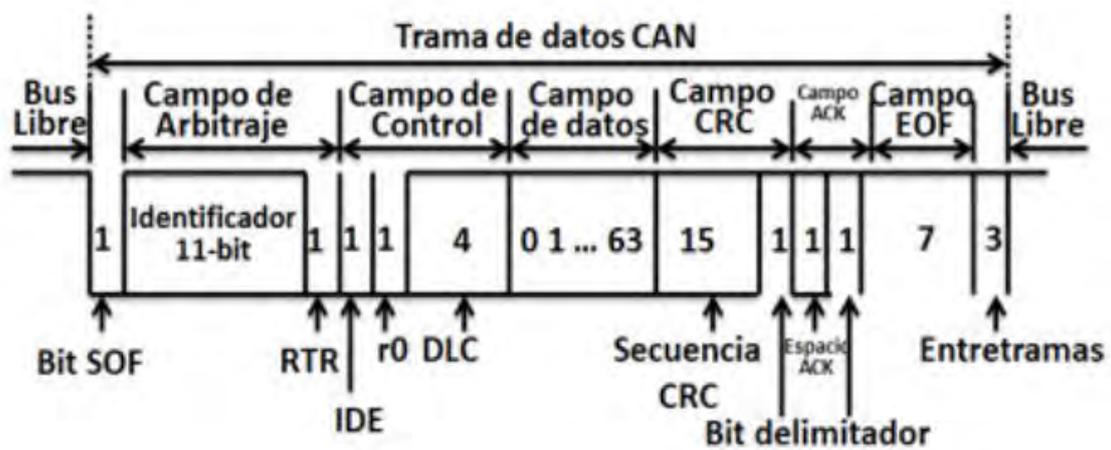


Ilustración 38: Trama de datos CAN (Anon., 2011)

Bibliografía:

Network, C. A. (2008). Bus de CAN.

Van Herrewege, A., Singelee, D., & Verbauwhede, I. (2011, November). CANAuth-a simple, backward compatible broadcast authentication protocol for CAN bus. In *ECRYPT Workshop on Lightweight Cryptography* (Vol. 2011).

Requena, A. M., & Martín, J. G. (2017). Introducción a CAN bus: Descripción, ejemplos y aplicaciones de tiempo real.

Salvador, M., & Roberto, K. (2015). Comunicación electrónica del automóvil: Sistema CAN-BUS. *Revista tecnológica* (2013), 6 (6), 39-42.

Costales Medina, M. T. (2008). *Análisis del protocolo CAN (Controller Area Network) e implementación de un prototipo de control de nodos interconectados por un bus de comunicaciones CAN* (Doctoral dissertation).

SUN, L. H., HE, Z. Q., & Zeng, W. X. (2004). Implementation of multicast in CAN bus system [J]. *Journal of The Hebei Academy of Sciences*, 3.

Bibliografía de imágenes

Anon., 2011. <https://www.researchgate.net>. [Online]

Available at: https://www.researchgate.net/figure/Figura-7-Formato-de-trama-CAN-20A-16_fig1_313666204

[Accessed 08 11 2020].

Anon., 2015. *EMTER.CO*. [Online]

Available at: <https://www.enter.co/cultura-digital/autotecnologia>

[Accessed 11 10 2020].

Anon., 2015. <http://jairgarcia26.blogspot.com>. [Online]

Available at: <http://jairgarcia26.blogspot.com/2015/09/can-bus.html>

[Accessed 08 11 2020].

Anon., 2015. <http://jairodaniel25.blogspot.com>. [Online]

Available at: <http://jairodaniel25.blogspot.com/2015/09/can-bus.html>

[Accessed 08 11 2020].

Anon., 2015. <http://javiermk.blogspot.com>. [Online]

Available at: <http://javiermk.blogspot.com/2015/09/can-bus.html>

[Accessed 08 11 2020].

Anon., 2015. <http://javiermk.blogspot.com>. [Online]

Available at: <http://javiermk.blogspot.com/2015/09/can-bus.html>

[Accessed 08 11 2020].

Anon., 2015. *TECNOSEGURO.COM*. [Online]

Available at: <https://www.tecnoseguro.com/empresas/fabricantes/bosch>

[Accessed 20 10 2020].

Anon., 2016. <https://usuaris.tinet.cat>. [Online]

Available at: <https://usuaris.tinet.cat/fbd/comunicaciones/canbus/can.html>

[Accessed 08 11 2020].

Anon., 2017. <http://repositorio.utp.edu.co>. [Online]

Available at:

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/9251/T004.62%20B932.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[Accessed 08 11 2020].

Anon., 2017. <https://til.scania.com>. [Online]

Available at:

https://til.scania.com/groups/bwd/documents/bwm/mdaw/ntuw/~edisp/bwm_0001091_03.pdf

[Accessed 08 11 2020].

Anon., 2017. <https://www.cablesyconectoreshoj.com>. [Online]

Available at: <https://www.cablesyconectoreshoj.com/cable-can-bus-ethernet-alimentacion/>

[Accessed 08 11 2020].

Anon., 2018. <https://blog.reparacion-vehiculos.es>. [Online]

Available at: <https://blog.reparacion-vehiculos.es/can-bus-ventajas-fallas-en-el-sistema>

[Accessed 08 11 2020].

Anon., 2020. <https://www.csselectronics.com>. [Online]

Available at: <https://www.csselectronics.com/screen/page/can-fd-flexible-data-rate-intro/language/en>

[Accessed 08 11 2020].

CSS, 2020. *CSS ELECTRONICS*. [Online]

Available at: <https://www.csselectronics.com/screen/page/can-fd-flexible-data-rate-intro/language/en>

[Accessed 20 10 2020].

DIGIKEY, 2019. *DIGIKEY ELECTRONICS*. [Online]

Available at: <https://www.digikey.com/es/articles/apply-the-latest-can-bus-enhancements-for-secure-reliable-high-speed-automotive-communications>

[Accessed 20 10 2020].