



Certificación ISO 9001:2015

Revisión documental del protocolo CAN como herramienta de comunicación y aplicación en vehículos

**Luis Gerardo Sánchez Vela
Martín Jonathan Molano Clemente
Manuel de Jesús Fabela Gallegos
Miguel Martínez Madrid
José Ricardo Hernández Jiménez
David Vázquez Vega
Oscar Flores Centeno**

**Publicación Técnica No. 474
Sanfandila, Qro, 2016**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Revisión documental del protocolo CAN como
herramienta de comunicación y aplicación en
vehículos**

Publicación Técnica No. 474
Sanfandila, Qro, 2016

Esta investigación fue realizada en la Coordinación Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural del Instituto Mexicano del Transporte, por el Ing. Luis Gerardo Sánchez Vela, el M. C. Martín Jonathan Molano Clemente, el Dr. Manuel de Jesús Fabla Gallegos, el Dr. Miguel Martínez Madrid, el M. C. José Ricardo Hernández Jiménez y el M. C. Oscar Flores Centeno.

Agradecemos la colaboración del Ing. Eduardo Malagon Paredes y la C. Ivonne Alejandra Flores Ángeles, como becarios del Instituto Mexicano del Transporte.

Contenido

Resumen		v
Abstract		vii
Resumen ejecutivo		ix
Introducción		1
Capítulo 1	Protocolos de comunicación en vehículos	3
	1.1 Redes de comunicación en vehículos	3
	1.2 Interfaces y protocolos de comunicación	4
	1.3 Velocidad y seguridad en la transmisión de información	8
	1.4 Unidades de control electrónicos	9
	1.5 Evolución de protocolos de comunicación en vehículos	10
	1.6 Protocolos de última generación	12
	1.6.1 Protocolo de comunicación MOST	12
	1.6.2 Protocolo de comunicación FLEXRAY	13
	1.6.3 Protocolo de comunicación VAN	15
	1.6.4 Protocolo de comunicación LIN	15
	1.7 Conectores para diagnóstico de vehículos	17
	1.7.1 Conector de diagnóstico para vehículos ligeros	17
	1.7.2 Conector de diagnóstico para vehículos de autotransporte	22
	1.8 Objetivo del estudio	24
	El bus CAN	

Capítulo 2.	2.1 Historia del CAN (principio y funcionamiento del protocolo CAN)	25
	2.2 Características principales del CAN	26
	2.3 El protocolo de comunicaciones CAN-BUS	27
	2.4 Elementos que componen el sistema CAN	28
	2.5 Características sobre la ruta de información de los mensajes CAN	29
	2.6 Normatividad de los protocolos de comunicación en los vehículos ligeros y pesados	31
Capítulo 3.	Ejemplo de aplicación	37
	3.1 Metodología	37
	3.2 Información de la interpretación de la transmisión de registros internos protocolarios del vehículo	42
Capítulo 4.	Resultados de las pruebas de conexión	47
	4.1 Resultados de las pruebas de conexión	
	4.2 Resultado de las pruebas	
Capítulo 5.	Conclusiones	51
Bibliografía		53

Resumen

La incorporación de los sistemas electrónicos en automóviles ha aumentado cada vez más. Desde la gestión del motor se ha ido ampliando la aplicación del control electrónico y actualmente podemos encontrarlo en todos los sistemas del automóvil: motor, tracción, seguridad, confort y comunicación. A partir del año 2008, la organización internacional que regulan las normativas, propone a la red de comunicación CAN (Control Area Network), desarrollada por Bosch en los años ochenta, como la única red multiplexada de comunicación en los automóviles; para garantizar el acoplamiento de las redes de comunicación en el ámbito automotriz y estándares a nivel de diagnóstico de fallas, para el funcionamiento correcto del vehículo.

El estudio contribuye el aprovechamiento de un mayor conocimiento, del principio y operación de la transferencia de información emitida por las señales de los sensores y actuadores del vehículo. Así mismo, este trabajo presenta las principales características de los protocolos de comunicación usados en vehículos y a su vez un apartado con la metodología usada para obtener información de los sensores de un vehículo comercial. Finalmente, con base en las pruebas desarrolladas con el vehículo instrumentado, se presentan las gráficas de los datos obtenidos de la velocidad del vehículo, la velocidad de cada uno de los neumáticos, ángulo de movimiento del volante y las RPM del motor.

Abstract

The incorporation of the electronic systems of automobiles has been increasing more each time. Since the management of the engine has been extended the application of the electric control and now can be found in all automobile systems: engine, traction, security, comfort and communication. Since 2008, the international organization that regulate regulations, offers to the communication network CAN (control area network), developed by Bosh in the eighties, as the only multiplexed network of communication in cars, to guarantee the coupling of communication networks in the automotive field and standard at the level of fault diagnosis, for the correct operation of the vehicle.

The study contributes to the use of a greater knowledge of the principle and operation of the transfer of information emitted by the signals of the sensors and actuators of the vehicle. This study, also presents the main characteristics of communication protocols used in vehicles at the same time a section with the methodology used to obtain information from the sensors of a commercial vehicle. Finally based on the tests developed with the instrumented vehicle, the graphs of the data obtained from the vehicle speed, the speed of each of the tires, the angle of movement of the steering wheel and the RPM of the motor are all presented.

Resumen ejecutivo

Acorde con la necesidad del Área de Dinámica Vehicular del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), este trabajo fue proyectado con el propósito de disponer de la información proporcionada por los sensores y actuadores de los vehículos; esto, por los estudios de desempeño dinámico que realiza el área del IMT, ya que, con esta información se podrá aumentar los alcances de las mediciones en las pruebas de desempeño y límites de operación de vehículos.

La red de comunicación CAN está siendo sumamente utilizada en la industria automotriz, con el objetivo de que el vehículo cuente con una comunicación entre los módulos integrados para diagnosticar el funcionamiento de cada uno de ellos y los sensores. Por tanto, se analizó e interpretó el principio de funcionamiento del protocolo CAN y su aplicación como red de comunicación en vehículos. En este trabajo, se presentan los antecedentes las características de las redes de comunicación utilizadas en la industria automotriz, se describe la evolución de los protocolos hasta llegar a los usados en la actualidad, en el cual se resaltan sus principales características tales como las de velocidad de trasmisión y seguridad de datos. Se investigaron los protocolos existentes y su aplicación en la industria automotriz, algunos de los protocolos que se describen son el LIN, VAN, MOST, FlexRay y CAN. Por sus características, el protocolo CAN es el que actualmente se utiliza en la mayoría de los vehículos, debido a su red multimaestra y estandarizada, esto quiere decir que todos los sistemas con sensores y actuadores envían y reciben información para monitorear el comportamiento del vehículo.

Este trabajo plantea una metodología para el procedimiento de conexión y de lectura de la información del bus CAN en un vehículo ligero marca Nissan, modelo March, año 2014, versión Advance; con el cual obtuvimos la información de la velocidad del vehículo, la velocidad de cada uno de los neumáticos, ángulo de movimiento del volante y las RPM del motor. Los equipos de medición fueron instalados en el vehículo de prueba y el experimento fue realizado en las instalaciones de la pista de pruebas del IMT; ejecutando las pruebas bajo condiciones controladas en la pista.

Finalmente en las pruebas experimentales se utilizaron equipos de medición que se especializan en el desarrollo de GPS, CAN-bus, sensores inerciales y equipos para grabación de vídeo. De las pruebas ejecutadas y la información registrada, se obtuvieron datos del vehículo en tiempo real de las revoluciones por minuto del motor (RPM), la velocidad del vehículo en km/h, la velocidad de cada una de los neumáticos en km/h y el ángulo del volante (con la ayuda del sensor de volante).

Los resultados alcanzados permiten obtener mayor información del comportamiento del vehículo utilizando sus propios sensores, y con base en las gráficas de resultados se observa que todos datos obtenidos de las pruebas son consistentes, con la diferencia que la medición de velocidad por parte del vehículo es sobrestimada.

Introducción

El protocolo CAN además de funcionar como un bus de comunicación entre módulos, es utilizado para diagnosticar el correcto funcionamiento de cada uno de estos módulos, y así también otros elementos como los sensores implementados en el vehículo, en ello es posible verificar cuando los sensores reportan una lectura fuera de rango o errónea. Para realizar los diagnósticos se utiliza un scanner especializado, con un conector adecuado para poder leer la información que envían los módulos del vehículo, y además, registrar las fallas que alguno de los módulos hayan detectado y que se encuentren almacenados en su memoria.

Antes de estandarizar el protocolo CAN para el diagnóstico de automóviles, se utilizaban otras alternativas que, aunque se encuentran obsoletas, se pueden ver en vehículos con más de una década de antigüedad y que hoy en día continúan operando; empresas como General Motors, Chrysler y Ford contaban cada uno con su propio protocolo de comunicación y un conector especial para el diagnóstico de sus vehículos, lo que hacía complicado y costoso el diagnóstico.

En vehículos ligeros, el uso del protocolo CAN solo es obligatorio en los vehículos vendidos en los Estados Unidos de América. Por otro lado, para vehículos pesados y de operación continua como los autobuses de pasajeros o camiones de carga, la Sociedad de Ingeniería Automotriz exige para vehículos nuevos que se utilice el estándar SAE J1939 como base para la implementación del bus CAN en estos vehículos, y así, estandarizar la interpretación de los datos enviados por los módulos que los integran.

El estudio de protocolo CAN resulta importante por la gran información que es proporcionada por los vehículos, esta podría ser valiosa para soportar los datos de pruebas de evolución de los vehículos, y además como comparación de las mediciones. Esta información podría ser de gran utilidad para las pruebas realizadas por el equipo de Dinámica vehicular y de gran interés para observar con un mayor panorama el comportamiento del vehículo.

El conocimiento y la interpretación de los datos obtenidos del protocolo CAN podrían dar información relevante en tiempo real de las mediciones relacionadas al vehículo dependiendo de sus características, estas variables a obtener pueden ser: presión de inflado de llantas, RPM del motor, aplicación de freno de mano, % de aplicación del acelerador, velocidad de giro en cada llanta, VIN del vehículo, aplicación del funcionamiento del ABS, entre otros. La información obtenida del bus CAN también podría estar sincronizada con la información obtenida de otros

sensores instrumentados externamente en el vehículo, con ello se podrá obtener mucha más información de los vehículos en las pruebas.

En el presente trabajo se realizará un ejemplo de la lectura de datos del bus CAN de un vehículo y así también de un dispositivo externo a este que envíe el Angulo de giro del volante y con ello comprobar que es posible obtener de forma continua datos de los sensores de los módulos en el vehículo, los sensores implementados externos al vehículo y además su interpretación.

1 Protocolos de comunicación en vehículos

Los avances tecnológicos en la industria automotriz han llevado cada vez más a la integración de dispositivos electrónicos en los vehículos, los que resultan importantes para el diagnóstico y control de distintos elementos del vehículo. La integración de los sistemas electrónicos en el vehículo hace necesaria una comunicación robusta entre dispositivos, considerando que en la comunicación se transporta información importante para que opere correctamente el vehículo. Debido a la necesidad de contar con una comunicación entre dispositivos electrónicos, sin cableado excesivo y normalizado para todo tipo de vehículos, surge el protocolo de comunicación CAN (Controller Area Network).

El protocolo CAN fue desarrollado por la compañía de Robert Bosch, para su aplicación en la industria automotriz; tiempo después fue estandarizado debido a sus diversas ventajas, tales como: la reducción del cableado; de tal forma que evita la conexión punto a punto entre dispositivos en el vehículo, lo cual aumentaría significativamente el cableado; ofrece alta inmunidad a interferencias, altas velocidades de transmisión, asignación de prioridad en los mensajes transmitidos y gran flexibilidad en la configuración del bus. El bus CAN es utilizado principalmente para comunicar distintos módulos dentro del vehículo, y con ello cualquier dispositivo en este puede contar con información relevante transmitida por otro dispositivo. Los principales módulos ECU (unidad de control electrónico) en los vehículos modernos que usan el protocolo CAN son: módulo de control de velocidad, módulo de control del motor y transmisión, módulo de control de la unidad, módulo de control de frenado (ABS y ESE), entre otros.

1.1 Redes de comunicación en vehículos

Una red de comunicación es la interconexión entre dos o más unidades mediante conexión alámbrica o inalámbrica para el intercambio de información o transmisión de datos.

La transmisión de datos entre centrales es realizada en forma de señales eléctricas, que al llegar a las centrales son convertidas en código binario para ser interpretado por estas.

El uso de los nuevos sistemas que mejoran el desempeño del vehículo, el confort, la seguridad y evitar las emisiones contaminantes por los vehículos, conlleva a la utilización de varias unidades de control de comunicación entre ellos, ya que cada uno de los sistemas dispone de sensores, actuadores y resistencias de terminación. La Figura 1.1 muestra la función de las redes multiplexadas, por ello

las centrales de los diferentes sistemas reciben información de los sensores, y con base en esta envían información a los actuadores.



Figura 1.1 Esquema de las redes multiplexadas

Para que un mensaje sea transmitido, es necesario un emisor, un receptor, un canal de comunicación entre ambos y un lenguaje común. Las unidades de control o centrales están compuestas de un transceptor y un controlador, encargados de convertir la señal eléctrica del bus en una señal digital y viceversa, y gestionar la información. En la Figura 1.2 [9] se presenta un ejemplo de la ubicación de las centrales y los sistemas de control electrónico de un vehículo.

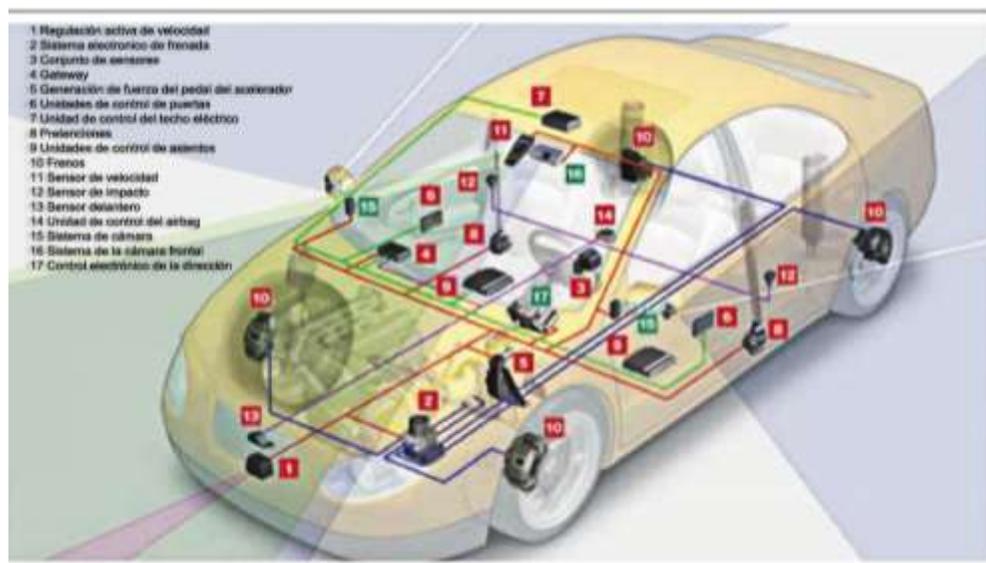


Figura 1.2 Ubicación de las centrales de control electrónico de un vehículo

1.2 Interfaces y protocolos de comunicación

El lenguaje empleado en la transmisión de datos se denomina protocolo de comunicación, se trata de un conjunto de reglas determinadas previamente, que deben conocer tanto el emisor como el receptor [9].

Los mensajes enviados y recibidos, los forman conjuntos de bits enlazados en serie (un bit tras otro). El bit es la unidad mínima de información empleada en cualquier dispositivo digital con él, podemos representar dos valores cualesquiera, como valores "0" y "1". En el uso del protocolo utilizado, conocido por el emisor y el receptor, el número de bits será diferente para expresar lo mismo. Los mensajes

también llamados tramas de datos, es decir un conjunto de bits, se dividen en diferentes partes, denominadas campos.

En la actualidad, la comunicación entre dispositivos electrónicos es muy importante, ya que se conoce el correcto funcionamiento de estos; la evolución tecnológica ha dado pauta para el desarrollo de diferentes interfaces de comunicación para sistemas electrónicos con diversas tecnologías, y que, de acuerdo con la aplicación, los requerimientos para la comunicación varían debido a las diferencias entre los requisitos para cada aplicación, como son: la velocidad de transmisión, la distancia entre dispositivos, el número de dispositivos conectados en el bus, y el costo de implementación, entre otras. A lo largo del tiempo se han desarrollado distintos interfaces de comunicación, y entre los principales se encuentran los siguientes:

- SPI (Serial Peripheral Interface): Interface de comunicación serial, cuatro cables para la comunicación, velocidades de transmisión de varios Mbps, para distancias cortas, típicamente para componentes de una misma placa de circuito impreso PCB; fue diseñado para comunicar usando el menor número de pines de un microcontrolador. El estándar fue creado por Motorola.
- I2C (Inter Integrated Circuit): Interface de comunicación muy usado en la industria para comunicación con periféricos externos, como memorias RAM y convertidores analógicos – digitales, con frecuencias de comunicación de 10 kbps hasta 3.4 Mbps, similar al SPI, es para distancias cortas. Fue desarrollado por Philips. Necesita al menos dos líneas para transmitir información.
- RS232: Interface que se encarga de enviar la comunicación un bit por vez, con base en una velocidad determinada de ante mando y con un formato determinado, el número máximo de dispositivos que intercambian información son dos a una distancia máxima de 15m y velocidades de transmisión de hasta 115 Kbps
- Ethernet: Ethernet utiliza un formato de transmisión de datos en serie, con una distancia máxima de 100m, con cables de par trenzado y velocidades de hasta 1000 Mbps; es utilizado comúnmente para comunicación de redes entre computadoras o dispositivos.
- USB (Universal Serial Bus): Es una interface de comunicación que soporta una conexión de hasta 127 dispositivos con distancias no mayores a 5m, y tiene capacidades de transmisión de datos desde 1.5 Mbps hasta 4.8 Gbps, es utilizado comúnmente para comunicar la PC con sus periféricos.

Cada uno de estas distintas interfaces de comunicación cuenta con determinadas capacidades y características, por lo que es decisión del diseñador elegir la más adecuada para su aplicación.

Los protocolos de comunicación fueron implementados en los vehículos para disminuir el costo y el peso en los automóviles, debido a la creciente incorporación

de dispositivos electrónicos, incluyendo las unidades de control electrónico (ECUs). Lo anterior viene de épocas anteriores, ya que la conexión entre dispositivos era punto a punto es decir, la comunicación solo se podría efectuar entre cada par de módulos (Figura 1.3). En la industria automotriz, los protocolos de comunicación más empleados son CAN (Controller Area Network), VAN (Vehicle area network), LIN (Local Interconnect Network) y MOST (Media Oriented Systems Transport). La incorporación del bus CAN en la actualidad reduce significativamente el número de conexiones, el espacio, la distancia de cableado y el peso del vehículo en comparación de otros protocolos de comunicación (Figura1.4).

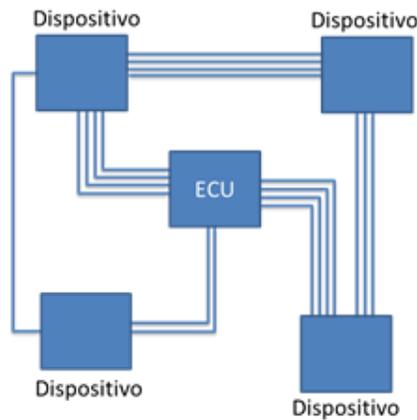


Figura 1.3 Diagrama de una conexión punto a punto

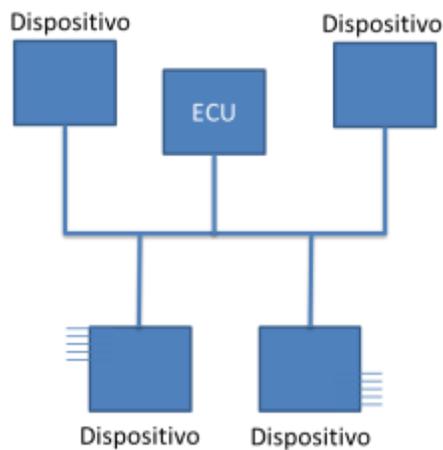


Figura 1.4 Diagrama de conexión Bus CAN

Por estas ventajas, el protocolo CAN es el más utilizado y apropiado para la comunicación dentro del vehículo; y su funcionamiento ha cumplido con su demanda, a lo largo de los años.

Los requisitos que deben cumplir los numerosos sistemas específicos de un automóvil solo pueden ser garantizados con la ayuda de redes multiplexadas regidas por las Normas SAE e ISO. Estas normas proponen al CAN como la única red multiplexada de comunicación en los automóviles, para garantizar el acoplamiento de las redes de comunicación en el ámbito automotriz y estándares a nivel de diagnóstico de fallos del OBD II, con esto garantizan que los componentes de comunicación y el funcionamiento de la red tengan un óptimo ordenamiento en el desempeño de esta.

El protocolo CAN, a diferencia de otras interfaces de comunicación, fue desarrollado específicamente para el área automotriz por la compañía de Robert Boch.

Actualmente, en un mismo vehículo hay diferentes redes con distintos protocolos de comunicación. Es muy común que un vehículo cuente con una red CAN de alta velocidad para las centrales de gestión de motor, tracción y gestión de cambios; una red CAN de baja velocidad para los sistemas de confort; una red LIN para sistemas que no requieren de alta velocidad, por ejemplo el sistema de limpiaparabrisas, y en una red MOST para el multimedia (dvd, radio, teléfono, etc.). La Figura 1.5 presenta una red de comunicación electrónica, estructurada en cuatro niveles, con las compuertas de enlace. La conexión en estas redes depende de la velocidad de la comunicación y distancia por cubrir, por lo que se puede usar desde un cable trenzado hasta fibra óptica.

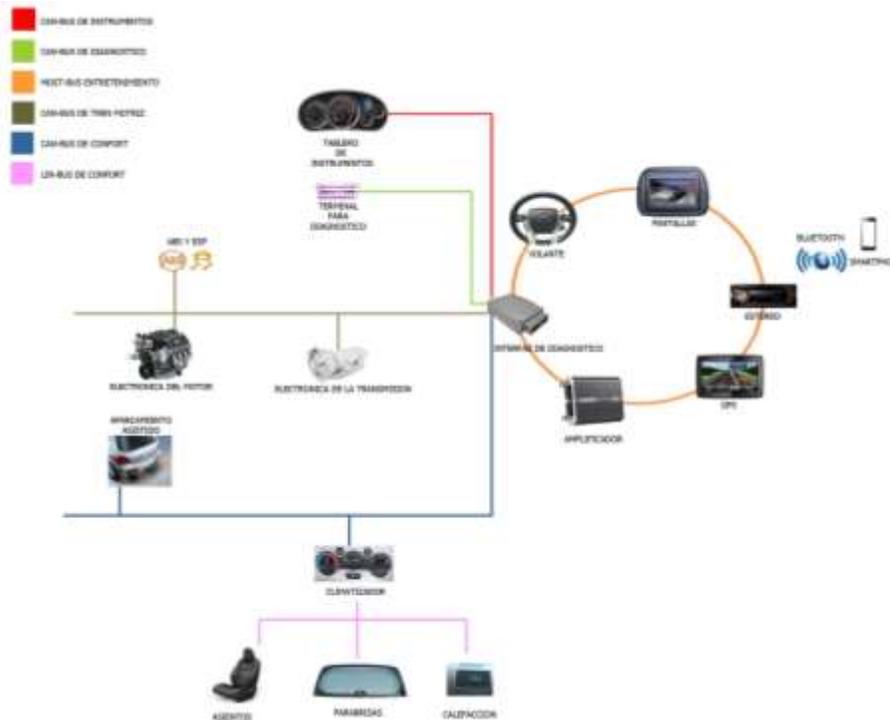


Figura 1.5 Arquitectura de una red de comunicación en un vehículo

1.3 Velocidad y seguridad en la transmisión de información

Para comparar los distintos protocolos empleados en la actualidad en vehículos, se destacan los dos factores importantes:

- Velocidad de transmisión.
- Costo de seguridad de transmisión de datos.

El protocolo que cuenta con mayor velocidad de transición de datos es MOST, con 21.2 Mbps, en segundo lugar le sigue FlexRay, con una transmisión de datos de 10 Mbps. Los protocolos CAN Y VAN cuentan con velocidades mucho menor de 1 Mbps y el protocolo con menor velocidad es LIN, con 20 Kbps, como muestra la Figura 1.6.

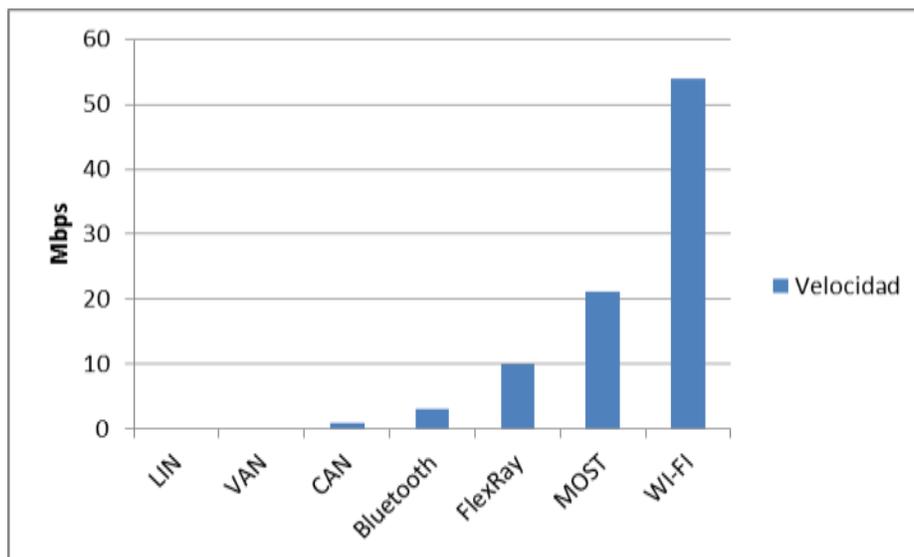


Figura 1.6 Velocidad de transmisión de datos

Sin embargo, los protocolos de mayor velocidad no son utilizados para sistemas de gestión en el motor o controlar la transmisión motriz; por no ofrecer suficiente seguridad en la transmisión de datos. Los sistemas con mayor seguridad para transmitir datos, son aquellos que utilizan un cable eléctrico como CAN, VAN, FlexRay o LIN. Los dos primeros protocolos mencionados son los más utilizados, por su velocidad de transmisión de datos, pero la tecnología de FlexRay ha llegado al mercado recientemente, y ofrece una mayor velocidad de transmisión de datos que los protocolos CAN y VAN. Mientras que el protocolo MOST es el más rápido, pero utiliza un medio de transmisión poco seguro (fibra óptica), por esa razón es empleado en sistemas de infotainment (Radio, pantallas, sonido, controles de volante, etc.) que requieren de una capacidad de transmisión de datos muy grande, pero en la que no es prioritaria la seguridad de esos datos. En cuanto a LIN, es

utilizado en sistemas que no afectan a la seguridad del vehículo, ya que ofrece menos velocidad y a un menor costo.

Los protocolos de transmisión de datos inalámbricamente aún no son utilizados en la comunicación entre ECUS, aunque sí en dispositivos como teléfonos y computadoras, debido a que no ofrecen seguridad en la transmisión de datos y una alta vulnerabilidad al robo de información durante la intercambio de esta.

1.4 Unidades de control electrónicos

Las unidades de control electrónicos son dispositivos electrónicos que cuentan con tarjetas electrónicas y tareas específicas capaces de tomar decisiones con base en sensores conectados al ECU (Unidad de Control Electrónico), y que, en algunos casos, la consecuencia de las decisiones es la activación de un actuador en el vehículo.

El ECU es conformado por hardware y software (firmware). El hardware se conforma por los componentes electrónicos implementados en una PCB (placa de circuito impreso). Los principales componentes en un ECU son: el microcontrolador, con su respectivo firmware (las series de instrucciones configuradas en el microcontrolador), la memoria EPROM y la memoria Flash.

El ECU se caracteriza por tener varias entradas y salidas tanto analógicas como digitales, maneja interfaces de comunicación con diferentes protocolos, integra componentes que pueden controlar elementos de potencia, se caracteriza por tener diagnósticos y ejecuta subrutinas que toma decisiones con base en las señales de entrada. Deberá ser una tarjeta que cumpla con diversas pruebas, vibraciones, temperaturas límite, inmunidad electromagnética y pruebas en los límites de alimentación de voltaje. En un ECU encontramos los siguientes bloques funcionales: fuente de alimentación para la parte digita, analógica y de potencia, el microprocesador con sus respectivas memorias Flash y RAM, el módulo de enlace de comunicación (CAN en la mayoría de los casos), el módulo de entradas y salidas digitales, de frecuencia y analógicas y por último el módulo de salidas de control PWM (modulador de ancho de pulsos).

En un vehículo son tantas las funciones requeridas para poner en marcha todos los sistemas, que en algunas ocasiones el ECU no es suficiente para realizarlas, por lo que es necesario distribuir los módulos en diferentes partes del vehículo los principales módulos que se encuentran en el vehículo son los siguientes:

- Los sistemas ABS de antibloqueo
- El modulo del control de la transmisión
- El modulo del control del motor

- El módulo del control de otras características (ventanas, seguro de puertas, etc.)
- El módulo de los sistemas de entretenimiento (reproductor de CD, DVD, radio, sistema de comunicación bluetooth para llamadas, etc.)

En la Figura 1.7 se presenta un dispositivo ECU, integrado por microcircuitos que procesan la información de los sensores y la proporcionan a los actuadores.



Figura 1.7 Dispositivo ECU

1.5 Evolución de protocolos de comunicación en vehículos

La integración de la electrónica en los vehículos comenzó en los años de 1980, en donde la electrónica apenas representaba el 0.5 por ciento del valor total de un vehículo comercial, esto se debe a que los únicos vehículos que contaban con electrónica eran los equipos de gama alta. En momento que el precio de producción de los dispositivos electrónicos se redujo, debido a su fabricación en masa, en los años noventa se incrementó el equipamiento de los sistemas electrónicos en vehículos de gama media y baja (Ing. dipl Adolf Fritz, 2002); el porcentaje del valor de la electrónica en el vehículo se incrementó al 7 por ciento. El incremento de los sistemas electrónicos en el vehículo originó la necesidad de implementar sistemas de diagnóstico de estos elementos. Al inicio, el dispositivo de diagnóstico se conformaba por un led que parpadeaba cuando detectaba una falla en algún elemento electrónico, este no fue suficiente, ya que el número de módulos distribuidos en el vehículo aumentó y por lo tanto así también las necesidades. Unos de los primeros protocolos de comunicación para el reporte de errores en un vehículo fue realizado por GM, con el protocolo de comunicación llamado ALDL (Assembly Line Diagnostic Link) también nombrado ALCL (Assembly Line Communications Link). El ALDL transmitía información con una velocidad de hasta 160 bits por segundo y posteriormente, a finales de 1985, se expandió a 8192 bits por segundo con el protocolo de comunicación UART (universal asynchronous reciber transmitter). Este protocolo fue aceptado por las compañías Ford, Chrysler y General Motors (GM); con esto fue posible obtener

mejor información de diagnóstico del vehículo en movimiento o estático, lo que hacía más fácil el diagnóstico de fallas no estáticas.

Por otro lado, General Motors desarrolló un protocolo de comunicación basado en comunicación serial, con nombre VPW (Variable Pulse Width); este protocolo fue desarrollado por su bajo costo, pero con limitantes en velocidad; al mismo tiempo Ford desarrolló el protocolo PWM (Pulse Width Modulated), similar al protocolo para control de motores. Ambos protocolos de comunicación se conjugaron en la norma SAE J1850 debido a su bajo costo y arquitectura abierta [3], cada una en su respectivo apartado. La diferencia entre ambos protocolos estaba en el cableado; por un lado, el VPW solo utiliza un cable para la comunicación, y PWM utiliza un cable para la tierra independiente y otro para la transmisión de datos. El protocolo VPW y PWM fue discontinuado a partir del 2007 para usarlo como protocolo de comunicación para el diagnóstico del vehículo [4].

Por su parte, Chrysler inició el desarrollo de su propio protocolo de comunicación similar al PWM, con velocidad de hasta 10.4 kilobytes por segundo; que transmitía tramas de hasta 12 bytes, el protocolo en la norma ISO 9141-2. Otras compañías como Audi, BMW, VW, Toyota generaron su propio protocolo de comunicación con velocidades desde 10.4 kilobytes hasta 12.2 kilobytes por segundo, el que terminó con el protocolo KWP2000.

Cada uno de los protocolos nombrados anteriormente cumplen muy bien con el objetivo de comunicar los elementos de un vehículo, pero con el paso del tiempo, las exigencias en el costo aumentaron, es donde surgió el protocolo CAN, que resolvió el problema de las distancias de cableado y disminuyó el peso del vehículo.

En un vehículo solo existe un ECU que realiza todas las funciones necesarias para un correcto funcionamiento de todos los sistemas que lo integran, ha sido necesario liberar la saturación de su memoria, y por lo tanto el control se ha dividido en varias unidades electrónicas, las cuales se interconectan por una sola línea común de datos llamada CAN-Bus [5].

Ninguna red de área local estandarizada en el pasado había sido apropiada para la aplicación en los vehículos, con la cual se pudiera lograr la interconexión de sensores, actuadores y controladores. Esto debido a la complejidad de la arquitectura de red y protocolos de comunicación de baja confiabilidad y alto costo de su implementación. El protocolo CAN redujo el cableado de sistemas de adquisición complejos y sistemas de procesamiento presentes en vehículos modernos que contienen múltiples microcomputadoras y microcontroladores, para la instrumentación y control de los sistemas. El bus CAN no solo ha ganado la aceptación de las redes de área local de la industria automotriz, sino que también de muchos otros sectores de la industria, esta es la razón por la que la normatividad ISO y SAE estandarizaron la especificación internacional de CAN.

Hoy en día múltiples compañías distribuidoras de controladores y computadoras producen microchips compatibles [7].

Las principales características del bus CAN son: alta confiabilidad, disponibilidad y robustez para trabajar en sistemas de comunicación segura en tiempo real operando en ambientes hostiles; además, su excelente detección de errores y capacidades de confinamiento del sistema incrementa su confiabilidad en ambientes con alto ruido, finalmente, la factible tasa de transferencia de datos de hasta 1 Mbps hace al sistema CAN recomendable para aplicaciones de relativa alta velocidad y control en tiempo real [6].

1.6 Protocolos de última generación

Las innovaciones tecnológicas desarrolladas en el campo de automóviles en las compañías automotrices beneficiaran muchos aspectos de nuestra vida, tanto en ámbitos sociales, económicos, políticas de protección al medio ambiente, desarrollos tecnológicos, políticas relacionadas en cuanto a normatividad de seguridad y emisiones y de infraestructura vial, todo ello para optimizar en todo sentido la transportación de las personas y bienes como se muestra en la Figura 1.7.



Figura 1.8 Relaciones para el desarrollo en el ámbito automotriz

Actualmente la industria automotriz aplica avanzadas redes de comunicación, la conexión en estas dependerá de la velocidad de comunicación y distancia por cubrir. A continuación se presentan los protocolos de comunicación, cada uno con su aplicación en el vehículo.

1.6.1 Protocolo de comunicación MOST

El sistema MOST (Media Oriented Systems Transport) es el estándar en la creación de redes de información y entretenimiento multimedia para la industria

automotriz. La tecnología fue diseñada para proporcionar un tejido eficiente y rentable de transmitir audio, video, datos e información de control entre los dispositivos conectados a la alta transmisión de datos de un automóvil. Su naturaleza síncrona permite que los dispositivos simples puedan ser capaces de proporcionar el contenido con el mínimo de hardware; Al mismo tiempo que proporciona una calidad única de servicio para la transmisión de audio y video. En la Figura 1.8, presenta la interconexión de componentes multimedia en una red de comunicación MOST, en el cual muestra en una red de conexión con las pantallas, el volante, el audio y el sistema GPS (Global Positioning System), todos en un mismo canal en conjunto con la interfaz de diagnóstico.



Figura 1.7 Esquema de la red Most

1.6.2 Protocolo de comunicación FLEXRAY

El consorcio FlexRay fue fundado en septiembre del 2000, y surgió ante la necesidad de crear un protocolo que permitiera la conexión de un mayor número de centrales a un mismo bus de datos, ya que los vehículos cuentan cada vez más con redes de comunicación más extensas. Se trata de un protocolo de comunicación a través de cables, como ocurre con CAN, VAN y LIN.

El protocolo FlexRay cuenta con cada central con un momento exacto y un intervalo de tiempo para transmitir información, también llamado slot, y cuya duración es del orden de milisegundos. Este protocolo alcanza una velocidad de transmisión de datos de 10 Mbps y realiza la transmisión de ciclos cortos de 2.5 milisegundos (CAN cada 10 milisegundos). Además, una red FlexRay tiene la capacidad de soportar 20 metros de conexión por bus y hasta 20 nodos conectados a la misma red. La Figura 1.9 presenta una red FlexRay, la cual está compuesta de cuatro centrales conectadas entre sí por dos nodos [9].

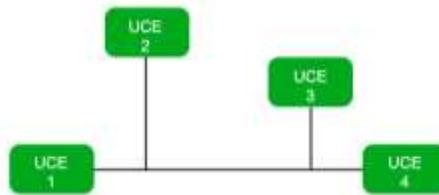


Figura 1.8 FlexRay con cuatro centrales

Este sistema es empleado para interconectar distintos sistemas, con seguridad y precisión, como son los nuevos y rápidos sistemas de asistencia al conductor y del control del bastidor, lo que se traduce en una mejora de la seguridad y comodidad en el funcionamiento del vehículo.

El aumento de eficaces sistemas electrónicos para asistir el manejo exige una respuesta veloz y por ello la rápida transferencia de datos a las unidades de control. Una de las grandes empresas automotrices, como es BMW, colabora con empresas con el objeto de perfeccionar un nuevo sistema de bus que innove las exigencias más requeridas en el mercado, como son la seguridad y rapidez de comunicación.

Esta tecnología ya es empleada en modelos de la marca BMW X5 -desde el año 2007- y se emplea para regular los estabilizadores de control del bastidor y válvulas electromagnéticas en los amortiguadores, con buenos resultados en el control del automóvil. Cada vez más, el sistema FlexRay fue introducido al campo automotriz; por ello varias marcas (BMW, Audi, Volkswagen) están aplicando esta tecnología.

FlexRay utiliza un par de cables trenzados sin blindaje para conectar los nodos juntos. Además soporta configuraciones de simple y de doble canal, que consisten en uno o dos pares de hilos, respectivamente.

La señalización diferencial en cada par de cables reduce los efectos del ruido externo en la red sin blindaje. La mayoría de los nodos FlexRay normalmente también tienen cables de alimentación y tierra disponibles para transceptores de energía y microprocesadores [8].

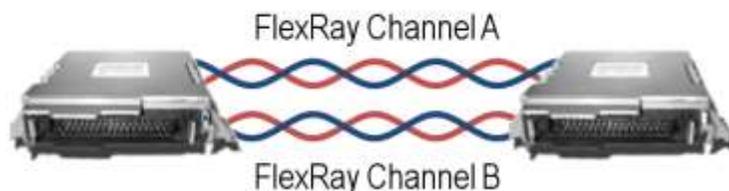


Figura 1.9 Diagrama de conexión de comunicación Flex Ray [9]

1.6.3 Protocolo de comunicación VAN

El protocolo VAN (Vehicle Area Network) fue creado en 1987 por PSA y Renault, con el apoyo del Gobierno de Francia. Este protocolo es muy similar a CAN y es empleado en sistemas que no requieren de una alta velocidad de transmisión de datos, ya que trabaja, como máximo, a 125 kbps. Normalmente ha sido empleada en sistemas como el de cierre centralizado, que pertenecen a la línea de carrocería; actualmente ya no es usado en ningún vehículo. Su estructura, al igual que el CAN, es multimaestro; pues todas las centrales están conectadas al bus y pueden intercambiar datos entre sí, respetando la prioridad en el protocolo de transmisión de datos. La Figura 1.12 muestra la estructura de una red VAN, la cual está compuesta por centrales maestras conectadas en una misma red.

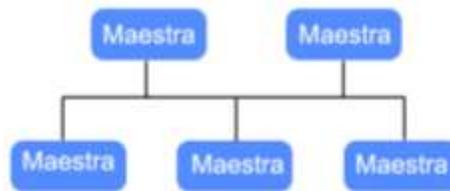


Figura 1.10 Estructura de una red VAN

El bus de datos está compuesto por dos cables de cobre entrelazados, de 0.6 mm², que transmiten una señal eléctrica. A los cables se les denomina DATA y DATAB. En la Figura 1.13 se presenta la señal de una red VAN, podemos observar que la simetría entre las señales de los dos cables trenzados es invertida.

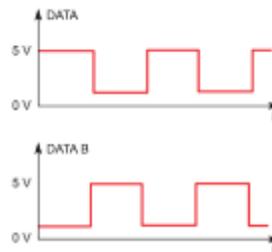


Figura 1.11 Señal de una red VAN

1.6.4 Protocolo de comunicación LIN

El bus de Red Local de Interconexión (LIN) fue desarrollado para crear un estándar para comunicación multiplexada de bajo costo en redes automotrices. A pesar de que el CAN cubre la necesidad para alto ancho de banda, redes de manejo de error avanzado, los costos de hardware y software por la implementación de CAN se han vuelto costosos para dispositivos de menor rendimiento como controladores de potencia de ventanas y asientos. LIN proporciona comunicación rentable en aplicaciones donde el ancho de banda y la versatilidad de CAN no son requeridos. Puede implementar LIN prácticamente a

un menor precio usando el transmisor/receptor estándar serial universal asincrónico (UART) embebido en la mayoría de los microcontroladores modernos de bajo costo, de 8 bits.

Las redes automotrices modernas usan una combinación de LIN para aplicaciones de bajo costo, principalmente en electrónicos, CAN para comunicación de tren de potencia y carrocería; y el bus FlexRay para comunicaciones de datos sincronizados de alta velocidad en sistemas avanzados, como suspensión activa.

El bus LIN es un bus con un solo dispositivo maestro y uno o más dispositivos esclavos. El dispositivo maestro contiene una tarea de maestro y una tarea de esclavo; cada dispositivo esclavo tiene solamente una tarea de esclavo. La comunicación a través del bus LIN está controlada completamente por la tarea de maestro en su dispositivo. La unidad básica de transferencia en el bus LIN es el marco, el cual está dividido en un encabezado y una respuesta. El encabezado siempre es transmitido por el nodo maestro y consiste de tres diferentes campos: la interrupción, la sincronización (sync) y el identificador (ID). La respuesta es transmitida por una tarea de esclavo y puede residir ya sea en el nodo maestro o un nodo esclavo; consiste de una carga útil de datos y una suma de verificación.

Normalmente, la tarea de maestro consulta cada tarea de esclavo en un ciclo al transmitir un encabezado que consiste de una secuencia de interrupción-sincronización-ID. Antes de comenzar el LIN, cada tarea esclavo es configurada para publicar datos al bus o suscribir a datos en respuesta a cada ID de encabezado recibido. El intercambio de datos entre los diferentes sistemas de LIN en un vehículo se realiza respectivamente por medio de una unidad de control a través del CAN de datos.

El sistema permite el intercambio de datos entre una unidad de control LIN maestra, y hasta 16 unidades de control LIN esclavas.

Unidad maestra: es la unidad de control que van conectada al CAN es la que realiza las funciones de maestra en el LIN-Bus.

Las funciones que tiene asignadas son:

1. El control de la transmisión de datos y su velocidad
2. En el programa de la unidad se define un ciclo, según el cual hay que transmitir mensajes al LIN-Bus y se especifica cuáles, asumen la función de traducción entre las unidades de control abonadas a LIN y el CAN de datos. De esta forma es la única que está conectada a su vez al CAN.
3. La diagnosis de las unidades de control LIN.

Unidad esclava: En un sistema de bus de datos LIN, la función de esclava la pueden realizar tanto una unidad de control como diferentes sensores o actuadores; por ejemplo, el sensor volumétrico de la alarma antirrobo. Los

sensores llevan integrada una parte electrónica que analiza los valores medidos por el propio sensor. La transmisión de estos valores se realiza entonces a través del LIN-Bus en forma de señales digitalizadas. Varias unidades esclavas pueden ser conectadas a una sola terminal de la unidad de control maestra del LIN-Bus.

En la Figura 1.13 muestra una unidad maestra de confort, la cual está unida a través de un cable LIN para transmitir la información del mensaje a la Interfaz de diagnóstico del bus datos (Gateway) y el conector de diagnóstico, en este caso las unidades esclavas son bocina de alarma y el sensor de protección antirrobo [9].

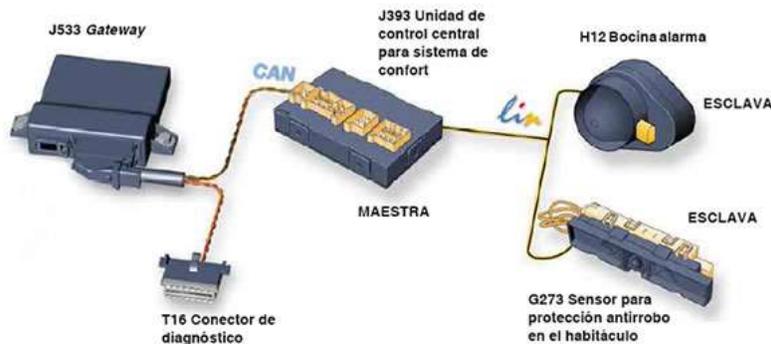


Figura 1.12 Red LIN en una unidad de control de confort [9]

1.7 Conectores para diagnóstico de vehículos

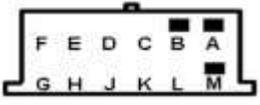
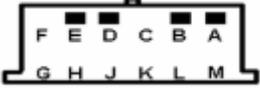
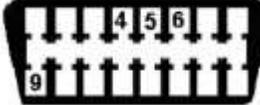
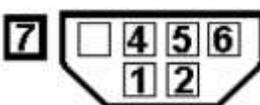
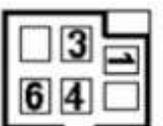
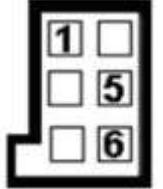
Durante el inicio de la implementación de sistemas de diagnóstico en vehículos era posible encontrar diferentes fabricantes con diferentes tipos de conectores, hasta hoy circulan muchos de estos antiguos conectores. Por otro lado, los vehículos de última generación siguen ciertas normas y mantienen en sus vehículos conectores de diagnóstico que cumplen con el estándar, a continuación se presenta una recopilación de los principales conectores de diagnóstico de vehículos implementados en los vehículos con mayor demanda.

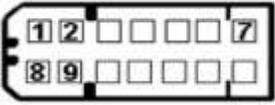
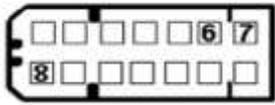
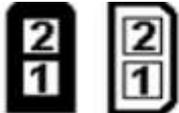
1.7.1 Conector de diagnóstico para vehículos ligeros

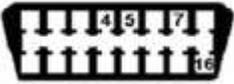
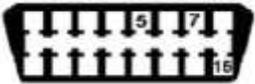
Para los vehículos ligeros, se puede encontrar dos tipos de conexiones de diagnóstico OBD I y OBD II, dependiendo de su antigüedad. El conector de OBD I fue la primera regulación de OBD que obligaba a los productores a instalar un sistema de monitorización de algunos de los componentes que controlaban los sistemas de emisiones en automóviles, y fue obligatorio en todos los vehículos a partir de 1991, sin embargo, fue creada esta tecnología en 1983 así como la implementada en algunos vehículos americanos en 1987 y 1988, los sistemas de OBD I no eran tan efectivos debido a que solamente monitorizaban algunos de los componentes relacionados con las emisiones, y no eran calibrados para un nivel

específico de emisiones. La Tabla 1 muestra conectores de OBD I de diferentes marcas de vehículos [9].

Tabla 1 Conectores de OBD I para vehículos ligeros

MARCA	DIAGRAMA	ALIMENTACIÓN PRINCIPAL			
		TIERRA	VOLTAJE	DATO 1	DATO 2
GM OBD-I 1982 a 1995		A	B (5.07 V)	M (14-350Mv)	NA
		A	B (5.07 V)	D (88.5Mv)	E (325Mv)
GM OBD-I Con conector OBD-II 1995 a 1999		5	6 (5.07 V)	9 (80-90mV)	NA
		5	6 (5.07 V)	9 (80-90mV)	7 (300-400mV)
FORD OBD-I 1982 a 1995		2	7 (5.07 V)	4 (Pulsos p/mil)	6 (Relé de bomba)
		1	7 (5.07 V)	5 (700-800 mV)	3 (<Batería)
CHRYSLER OBD-I 1981 a 1995		1	6 (V batería)	4 (Datos seriales)	3 (Relé de paro automático ASD)
CHRYSLER OBD-I 1994 a 1995 MODELO:		6	NA	1 (Datos seriales)	5 (Relé de paro automático ASD)

CONCORDE INTREPID					
NISSAN OBD-I 1993 a 2003		8	7 (V Batería) (< V Batería)	9 (<15 mV)	2 (<300mV)
NISSAN OBD-II 2004 a 2005 MODELO: TSURU		8	7 (V Batería)	6 (6-8 V)	NA
NISSAN OBD-I 2002 a 2004 MODELO: URVAN	Posición inicial:  Se hace cambio de terminales según muestra el diagrama de la izquierda	4 y 5	16(V Batería) 13(< V Batería)	9 (<15mV)	NA
VW OBD-I 1991 a 1994 MODELO: A3 y A4		Negro 2	Negro 1 (V Batería)	Blanco 1 (10-900 mV)	Blanco 2 (10 A 800 mV)
VW OBD-I 1993 a 2003 MODELO: SEDAN COMBI		Negro 2	Rojo 3 (V Batería)	Gris 1 (10-900 mV)	NA
VW OBD-I 1994 a 1996 MODELO:		Negro o Café 2	Rojo 3 (V Batería)	Gris o Blanco 1 (10-900 mV)	NA A:no se usa para diagnosticar

COMBI					
VW OBD-I 1994 a 1999 MODELO: POINTER DERBY		4(Chasis) 5(ECU)	16 (V Batería)	7 (10-900 mV)	NA
CHEVROLET OBD-I 1996 a 1997 MODELO: CHEVY		A	J (V Batería)	I (10-80mV)	NA
CHEVROLET OBD-I 1997 a 2004 MODELO: CHEVY		5	16 (V Batería)	7 (10-80mV)	NA

El sistema OBD II surge para medir las emisiones de un vehículo, con una mayor precisión y muestra el error en específico dependiendo del sistema, establece códigos de errores genéricos de todos los sistemas OBD II a pesar de las diferentes marcas y modelos. A partir de la implementación del OBD II en el año 2007, el conector de diagnóstico se convirtió en un estándar, así como el uso de cada uno de los pines del conector y su ubicación (SAE J1939).

Existen tres protocolos básicos de OBD-II, cada uno con pequeñas variaciones en el modelo de comunicación entre el equipo de diagnóstico a bordo y el escáner. Aunque ha habido algunos cambios de fabricante entre protocolos en los últimos años, como regla general, los vehículos Chrysler, así como algunos europeos y asiáticos utilizan el protocolo ISO 9141. Los vehículos GM utilizan el protocolo SAE J1850 VPW (modulación de ancho de pulso variable) y los vehículos Ford utilizan patrones de comunicación SAE J1850 PWM (modulación de ancho de

pulso). También se puede determinar qué protocolo utiliza un automóvil, luego de examinar el conector.



Figura 1.13 Terminales del conector de OBD II

La norma SAE J1939 establece la ubicación del conector de diagnóstico (Figura 1.14), debe estar ubicado en el habitáculo de ocupantes, debajo del panel de instrumentos, cercano al asiento del conductor o hasta 300 mm más allá de la consola central del vehículo, todos estos requerimientos de ubicación deben cumplir con la facilidad de acceso y deben estar fuera de la línea visual de los ocupantes.



Figura 1.14 Ubicación de OBD II

Para verificar si un vehículo es compatible con OBD II, en el pilar de la puerta o debajo del capó aparece una etiqueta o placa que dice "compatibles con OBD II" o "OBD II Certified" como muestra la Figura 1.15, además podemos observar un conector de 16 pines.



Figura 1.15 Etiqueta o placa de OBD II

1.7.2 Conector de diagnóstico para vehículos de autotransporte

A diferencia de los vehículos de gasolina; en los vehículos de diésel, el sistema OBDII no es un estándar de diagnóstico, este tipo de vehículos a menudo dependen de la norma SAE J1939 y SAE J1708, protocolos de diagnóstico.

La SAE J1939 es un protocolo de nivel superior que define la comunicación entre los nodos o unidades electrónicas de control y de diagnóstico que se produce en un bus del vehículo. Fue desarrollado originalmente por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) en los EE.UU. para aplicaciones en camiones pesados. En la actualidad, el estándar SAE J1939 se está incluyendo y se utiliza en todo el mundo en camiones de servicio pesado y en maquinaria. Las compañías que actualmente usan el protocolo SAE J1939son las siguientes:

- VOLVO
- MACK
- John Deere
- Caterpillar
- Detroit Diesel
- Nissan Diesel
- Kubota
- Freightliner
- DongFeng

- SinoTruck
- Daimler Trucks
- Navistar
- Chery Auto
- SAIC MOTOR
- SINO Truck (CNHTC)
- China National Heavy Duty Truck Group Corp., Ltd
- Dong Feng Motor
- King Long
- Shannxi AutoMobile

Desde el año 2004, SAE J1939 se ha convertido en CAN, lo diferencian con sus predecesores, los protocolos SAE J1708 y SAE J1587. Las marcas que han usado el protocolo SAE J1708 en algunos de sus modelos son:

- Cummins
- Heavy duty generic
- Isuzu
- Iveco diesel (euro 3+4)
- Daf
- Hyundai heavy duty
- Volvo
- Mack IV
- Renault heavy duty
- Mercedes benz (actros-atego)

Para vehículos de diésel, existen dos tipos conectores de diagnóstico de 9 pines que incluye la norma SAE J1939 Y SAE 1708, mientras que el conector de 6 pines utiliza la norma SAE J1708 como muestra la Figura 1.16.

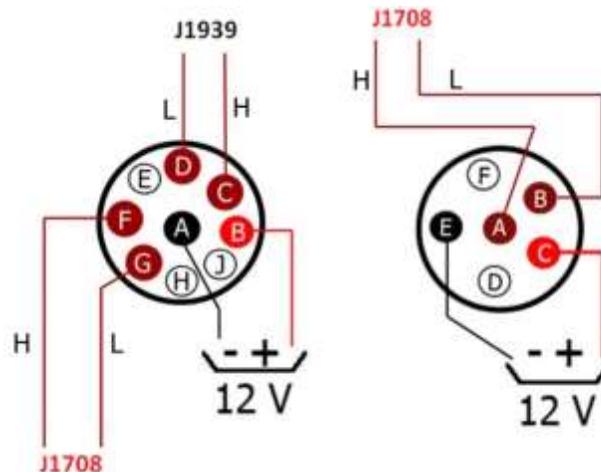


Figura 1.16 Conector para diagnóstico de seis y nueve pines

1.8 Objetivo del estudio

El objetivo es describir el principio de operación y funcionamiento del protocolo CAN en los vehículos, en apoyo a los usuarios del presente trabajo, para la interpretación del intercambio de la información realizada en el bus CAN. La información recabada proporcionará la base teórica con la cual será posible extender el alcance de las mediciones de los equipos que maneja el laboratorio de vibraciones del grupo de dinámica vehicular.

Pese a que el objetivo principal del presente trabajo es la recopilación de información relacionada con el protocolo CAN, no deja de ser importante la aplicación de la información recabada; por ello es que para ampliar el alcance original del presente trabajo se incluye la descripción del procedimiento llevado a cabo de un ejemplo práctico utilizando el bus CAN de un vehículo ligero.

2 El bus CAN

Durante dos últimas décadas, las interfaces más convenientes para el traslado de información entre computadoras y controladores han sido los estándares RS-232 y el RS-448. Si bien, estos estándares como otros más fueron creados para la transmisión de datos, ninguna red de área local estandarizada en el pasado había sido apropiada para la aplicación en los vehículos, con la cual fuera posible lograr la interconexión de sensores, actuadores y controladores. Esto debido a la complejidad de la arquitectura de red y protocolos de comunicación, baja confiabilidad y alto costo de su implementación. La situación cambió cuando se decidió estandarizar el CAN, el bus orientado a comunicación de sistemas para aplicaciones en la industria automotriz, como son los vehículos, tractocamiones, autobuses, trenes, y otros tipos de vehículos; la razón fundamental fue la drástica reducción del complejo cableado de los sistemas de adquisición y sistemas de procesamiento presentes en vehículos modernos, que cuentan con múltiples microcomputadoras o microcontroladores basados en sistemas de instrumentación y control para el manejo del sistema de combustión, control de la suspensión, ABS, entre otros. El bus CAN ha ganado una gran aceptación en las redes de área local, no solo por en la industria automotriz, también por muchos otros usuarios en otros sectores de la industria. Hoy en día, existe una larga lista de productores de equipos para el bus CAN, entre ellos se encuentran: Alcatel, Motorola, National Semiconductor, Philips, Siemens, Texas Instrumentes, etc.

2.1 Historia del CAN (principio y funcionamiento del protocolo CAN)

El bus CAN (Controller Area Network) es una representación de un bus serial diseñado por Bosh, en 1986. Para su uso en el desarrollo industrial y la aplicación en vehículos. Está basado en una topología bus para la transmisión de mensajes en entornos distribuidos. La Capa de Enlace de Datos del modelo OSI (Open Systems Interconnection) aplicado a CAN fue estandarizado por el patrón ISO 11519, promulgado en 1993. El estándar ISO 11519 fue dividido en dos partes, el Control de enlace Lógico (conocido como LLC por sus siglas en ingles) y el Control de Acceso a Medios (MAC) [1].

El primer vehículo que incorporó el bus CAN fue el Mercedes-Benz Clase E, en 1992, diez años después de su patente. En ese entonces, Mercedes Benz manejó un sistema de comunicación para sus vehículos, que podría ser aplicado para la comunicación entre tres ECUs. El chip de silicio para la transmisión y recepción de mensajes de CAN fue desarrollado primero por Intel con el controlador de CAN 82526 y posteriormente Philips desarrollo el controlador de CAN 82C200, para

distinguir el tipo de controlador de CAN usado algunas personas referenciaron al método de Intel como “Full CAN”, mientras que el método de Philips es referenciado como “Basic CAN”. Hoy, muchos controladores CAN soportan ambos métodos, ello cual elimina la necesidad de especificar estos términos.

La especificación original de Bosh fue utilizada por varios años y ahora es subdividida en dos partes, el CAN estándar que usa un identificador (ID) de 11 bits, mientras que el CAN extendido usa un identificador de 29 bits. Ambos parten de la especificación de diferentes formatos de la trama de datos. Es necesario recalcar que no se deben confundir los términos de CAN estándar y CAN extendido con los de “Full CAN” y “Basic CAN”. Los dos primeros términos se refieren al tamaño del identificador de una trama de datos y los dos últimos a la manera que un controlador CAN es programado. La subdivisión de CAN resultó en dos estándares ISO, ISO 11519 que maneja un límite de 125 kbps, mientras que el estándar 11898 provee tasas de transferencia de datos de hasta 1Mbps [21]. La versión llamada 2.0B de CAN es comúnmente referenciado a “CAN extendido” y las versiones anteriores (1.0, 1.2 y 2.0A) hacen referencia a “CAN estándar”, la especificación original de CAN.

En el caso de sistemas como de camiones y autobuses, los fabricantes de partes en los Estados Unidos son los que han estado en cooperación en el establecimiento del bus. CAN impresionó en la figura de las ventas al demostrar una relevancia en la industria de CAN con 200 millones de controladores CAN vendidos en 2001[2]

2.2 Características principales del CAN

Como se ha mencionado, CAN fue desarrollado por Bosh, en 1986. CAN opera sobre dos capas del modelo OSI (Open Systems Interconnection), estas capas son: la capa física y la capa de datos. Una versión de CAN (transmisión tolerante a fallas) soporta frecuencias de datos de hasta de 125 kbps, con una distancia de hasta 40m, el cual provee una mayor capacidad de transferencia de datos y rango extendido de transmisión comparado con el protocolo LIN. Además, otras versiones de CAN soportan tasas de transferencia de hasta 1 Mbps, lo cual representa un incremento de un factor de 50 sobre la máxima tasa de transferencia de datos de LIN.

El bus CAN es primeramente usado en sistemas embebidos, y su nombre implica que es una red tecnológica que provee rápida comunicación en microcontroladores y hasta requerimientos en tiempo real; pues elimina la necesidad de usar una tecnología más completa y costosa.

CAN es un sistema de red de alta velocidad sobre dos cables, el cual es muy superior a la tecnología convencional serial RS232, la implementación de CAN es más efectiva en costo por su funcionalidad y confiabilidad. Mientras TCP/IP es diseñado para el transporte de largos conjuntos de datos, CAN es diseñado para

requerimientos en tiempo real. La red CAN puede ser usada en comunicación de sistemas embebidos para microcontroladores, como un sistema de comunicación abierta para dispositivos inteligentes. Algunos usuarios, como por ejemplo en el campo de la medicina, optaron por CAN por la particularidad de su estricto requerimiento de seguridad [20].

Las principales características del protocolo CAN son las siguientes:

- Es una red serial de comunicación para soluciones embebidas
- Necesita solo dos cables CAN_H (alto) y CAN_L (bajo).
- Opera en tasas de hasta 1 Megabit por segundo
- Soporta máximo 8 bytes por mensaje de trama
- No soporta ID de nodos, solo ID de mensajes. Una aplicación puede soportar múltiples ID de mensajes.
- Soporta prioridad de mensajes. El ID menor es el ID de mayor prioridad
- Soporta dos tamaños de ID, uno de 11 bits (estándar) y otro de 29 bits (extendido)
- No experimenta colisión de mensajes (esto ocurre en otras tecnologías de comunicación serial)
- No demanda requerimientos de cableado, con solo tener un par de cables trenzados es suficiente.

2.3 El protocolo de comunicación CAN-BUS

La red multiplexada CAN (Controller Area Network) actualmente es la más utilizada en los vehículos. La transmisión de datos se realiza por impulsos eléctricos en forma de señal cuadrada a través de un bus de datos, formado por dos cables entrelazados. Las unidades de control cuentan con un transceptor que convierte los impulsos eléctricos a en un mensaje de código binario, para que pueda ser comprendido para el controlador y el microprocesador. Las unidades de control de CAN en los vehículos son:

CAN Tracción o CAN tren motriz, CAN Confort, CAN Entretenimiento, CAN Seguridad y CAN Cuadro de Instrumentos.

En las redes CAN, todas las centrales envían y reciben mensajes de las otras centrales, pero estos mensajes tienen un solo destinatario. Cuando una central recibe un mensaje, tiene que saber si es dirigido a ella o si la ignora. Además debe

identificar la prioridad del mensaje y responder a la acción del sensor que lo emitió.

2.4 Elementos que componen el sistema CAN

Cables: La información circula por dos cables trenzados que unen todas las unidades de control que forman el sistema. Esta información es transmitida por diferencia de tensión entre los dos cables (CAN de alta velocidad de 500 kbps a 1 Mbps y CAN de baja velocidad de hasta 250 kbps), si uno de los dos falla, el que sigue en funcionamiento se compara con tierra y el sistema se mantiene operando con uno de los cables.

Resistencias de terminación: Son resistencias conectadas a los extremos de los cables del bus, que permiten adecuar el funcionamiento del sistema a diferentes longitudes de cables y número de unidades de control, ya que impiden fenómenos que pueden afectar el mensaje.

Controlador: Es el elemento encargado de la comunicación entre el microprocesador de la unidad de control y el transmisor-receptor. Trabaja acondicionando la información que entra y sale entre ambos componentes.

Este determina la velocidad de transmisión de los mensajes, que será más o menos elevada, según el compromiso del sistema. Así, en la línea de Can-Bus del motor, frenos, o cambio automático es de 500 [Kbaudios]; y en los sistema de confort, de 62.5 [Kbaudios].

Transmisor – Receptor: El transmisor-receptor es el elemento que tiene la misión de recibir y de transmitir los datos, además de acondicionar y preparar la información para que pueda ser utilizada por los controladores. Esta preparación consiste en situar los niveles de tensión de forma adecuada. Funcionalmente está situado entre los cables que forman la línea CAN-Bus y el controlador.

La Figura 2.1 muestra una central conectada al CAN bus, que consta de tres elementos, los cuales son el microprocesador, el controlador, el transmisor receptor y los cables conectados a la red de comunicación [9].

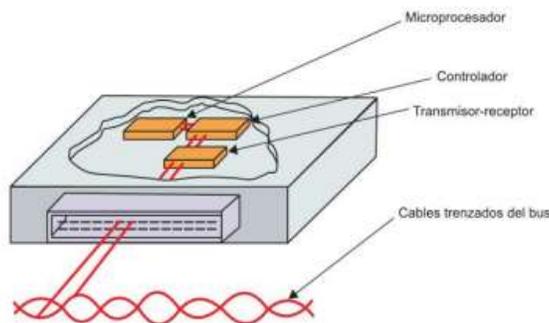


Figura 2.1 Central conectada al CAN bus [9]

Para comprender la función de cada componente físico en una red CAN, a continuación aparecen los pasos seguidos durante un envío de datos a través de una línea CAN:

- 1.- Los sensores y captadores envían la información a su central correspondiente.
- 2.- El microprocesador de la central trata esta información y la envía al controlador; Este, a su vez, la pasa al transceptor.
- 3.- El transceptor transforma la información digital recibida en señales eléctricas y la vuelca en el bus de datos.
- 4.- El resto de centrales reciben el mensaje y deciden si les interesa o no, envían una confirmación de recepción del mensaje al bus de datos.
- 5.- Las centrales interesadas en el mensaje lo aceptan, lo procesan y deciden si ignorarlo o no.

2.5 Características sobre la ruta de información de los mensajes CAN

El sistema Can-Bus envía la información transmitida en forma de mensajes estructurados, en la que una parte de este es un identificador, indica la clase de datos que contiene. Todas las unidades de control reciben el mensaje, lo filtran y solo es empleado por las que lo necesitan.

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

Envío de datos: Los sensores y captadores envían la información a su central correspondiente.

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

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

Trasmisión de datos: El controlador de dicha unidad transfiere los datos y su identificador junto con la petición de inicio de trasmisión. Para transmitir el mensaje, el bus debe estar libre, de lo contrario tener una prioridad mayor. A partir del momento en que esto ocurre, el resto de unidades de mando se convierten en receptoras.

Recepción del mensaje: Cuando la totalidad de las unidades de mando reciben el mensaje, verifican el identificador para determinar si el mensaje será 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 de mecanismos para detectar errores en la transmisión de mensajes. Esto hace que las probabilidades de error en la emisión y recepción de mensajes sean muy bajas, por lo que es un sistema extraordinariamente seguro.

Mensaje: El mensaje es una sucesión de bits, y tiene una serie de campos de diferente tamaño que permiten llevar a cabo el proceso de comunicación entre las unidades de mando. Estos permiten identificar a la unidad de mando, indicar el principio y el final del mensaje, mostrar los datos, permitir distintos controles, etc.

Campo de inicio del mensaje: El mensaje se inicia con un bit dominante, cuyo flanco descendente es utilizado por las unidades de mando para sincronizarse entre sí.

Campo de arbitrio: Los 11 bit de este campo son empleados como un identificador que permite reconocer a las unidades de mando la prioridad del mensaje, determina el orden en que van a ser introducidos los mensajes en la línea.

El bit RTR indica si el mensaje contiene datos (RTR=0) o si se trata de una trama remota sin datos (RTR=1). La trama remota es empleada para solicitar datos a otras unidades de mando o bien porque se necesitan o para realizar un chequeo.

Campo de control: Este campo informa sobre las características del campo de datos.

Campo de datos: En este campo aparece la información del mensaje con los datos que la unidad de mando correspondiente introduce en la línea Can-Bus.

Campo de seguridad (CRC): Este campo es utilizado para la detección de errores.

Campo de confirmación (ACK): El campo ACK está compuesto por dos bit que son siempre transmitidos como recesivos (1). Todas las unidades de mando que reciben el mismo CRC modifican el primer bit del campo ACK por uno dominante (0), de forma que la unidad de mando que está todavía transmitiendo reconoce que al menos alguna unidad de mando ha recibido un mensaje escrito correctamente. De no ser así, la unidad de mando transmisora interpreta que su mensaje presenta un error.

Campo de final de mensaje (EOF): Este campo indica el final del mensaje.

En la Figura 2.2 aparece el proceso de transmisión de datos desde que es enviado por un sensor, representando cada parte de la trama de datos y su capacidad de

bits, este mensaje es recibido a una central de análisis de datos, esto para revisar si el mensaje envía una alerta o corrección.

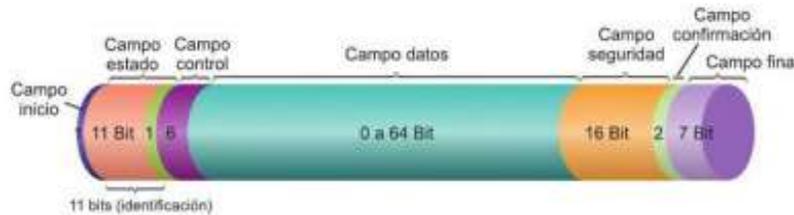


Figura 2.2 Trama de datos estándar [9]

2.6 Normatividad de los protocolos de comunicación en los vehículos ligeros y pesados

La Comisión de Recursos del Aire de California (California Air Resources Board - CARB) comenzó la regulación de los Sistemas de Diagnóstico a Bordo (OBD) para los vehículos vendidos en ese estado; comenzó con los modelos del año 1988. La primera norma implantada fue la OBD I, en 1988, donde monitorizaban los parámetros de la sonda lambda, el sistema EGR y el ECM (Modulo de control).

Para modelos a partir de comienzos de 1994, el CARB (California Air Resources Board) y EPA (Environmental Protection Agency) aumentaron los requerimientos del sistema del OBD I, lo que convirtió el OBD I en el conocido OBD II (2ª generación).

Desde el 2008, la organización internacional que regulan las normativas propone al CAN como la única red multiplexada de comunicación en los automóviles, para garantizar el acoplamiento de las redes de comunicación en el ámbito automotriz y estándares a nivel de diagnosis de fallos del OBD II, con esto se garantiza que los componentes de comunicación y el funcionamiento de la red tengan un óptimo ordenamiento en el desempeño de la misma.

El OBD II es un conjunto de normalizaciones que procuran facilitar el diagnostico de averías y disminuir el índice de emisiones de contaminantes de los vehículos. La norma OBD II está asociada a las normas como la SAE (Society of Automotive Engineers por sus siglas en inglés) e ISO (Organización Internacional de Normalización), las que se pueden apreciar en la Tablas 1.1 y la Tabla 1.2. En la tabla 1.1 se observa la normatividad que deben cumplir las redes de comunicación en los vehículos. En ella presentan las normas SAE para vehículos ligeros y pesados. Los vehículos pesados se rigen por la SAE J1708, la SAE J1587 y la SAE J1939 [10], por lo que todas están indicadas por su nombre, estándar y descripción [11].

Tabla 2.1 Normas SAE (Society of Automotive Engineers) [10]

Nombre	Estándar	Descripción
Procedimientos de medición de compatibilidad electromagnética y los límites para componentes de vehículos, embarcaciones (hasta 15 m), y maquinaria (excepto motores de aviones) (16.6 Hz a 18 GHz)	J1113	Esta norma indica el procedimiento de medida de voltaje de la compatibilidad electromagnética de los componentes del automóvil (audio, radiofrecuencia y emisiones conducidas y radiadas).
Manual para la Validación de Robustez Automotrices módulos eléctricos / electrónicos	J1211	Este documento se ocupa principalmente de los módulos electrónicos / eléctricos (EEM), pero se puede adaptar fácilmente para su uso en mecatrónica, sensores, actuadores y conmutadores.
Glosario de redes de vehículos para la multiplexación de datos y comunicaciones	J1213	Este documento abarca los términos generales y las definiciones correspondientes que apoyan el diseño, desarrollo, implementación, prueba y aplicación de redes de vehículos.
Procedimientos de susceptibilidad electromagnéticas para el modo común de inyección (1-400 MHz), prueba de módulos	J1547	Este documento establece un método para determinar el nivel relativo de susceptibilidad de los módulos electrónicos para medir la compatibilidad electromagnética en módulos de inyección.
Intercambio electrónico de datos entre sistemas de microcomputadoras en aplicaciones de servicio pesado de vehículos	J1587	Detalla las aplicaciones de intercambio de datos entre microcomputadoras instaladas en los vehículos pesados. Esto incluye toda la información relacionada con el funcionamiento del vehículo y sus componentes (tales como el rendimiento, mantenimiento, y los datos de diagnóstico).
Casos de prueba del cumplimiento del vehículo OBD II	J1699	El propósito principal de esta práctica recomendada es verificar que los vehículos sean capaces de comunicar un subconjunto mínimo de información, de acuerdo con los servicios de pruebas de diagnóstico especificados en SAE J1979: E / E de diagnóstico modos de prueba
Comunicaciones serie de datos entre sistemas de microcomputadoras en aplicaciones de servicio pesado de vehículos	J1708	Este documento define los parámetros del enlace serie que se refieren principalmente a la compatibilidad de hardware y software de base, tales como requisitos de la interfaz, el protocolo del sistema y formato de los mensajes. Los datos reales son transmitidos por determinados módulos.

Comunicaciones estándar utilizado en vehículos todo terreno terrestres	J1850	Especifica los requerimientos de las redes de comunicación de datos en los automóviles.
La robustez de validación estándar	J1879	La robustez de validación proporcionará a la comunidad electrónica del automóvil con una metodología común de calificación para demostrar la fiabilidad aceptable. Incluye los criterios de aceptación general y de producción de circuitos integrados para la aplicación automotrices.
Control de enlace SAE J1922 de datos de motor electrónico par aplicado al control de tracción automático	J1922	Indica el interfaz del control electrónico del motor utilizado en los camiones. Además define el formato de los mensajes utilizados para pasar datos entre motor, transmisión, ABS, etc.
Eléctricos / Términos Sistemas Electrónicos de diagnóstico, las definiciones, abreviaturas y acrónimos	J1930	Representa los términos de diagnóstico de los sistemas electrónicos (definición, abreviatura y siglas).
Práctica recomendada para un control de la red de vehículos de serie y comunicaciones	J1939	Proporciona las comunicaciones de los datos entre los ECUS en cualquier tipo de vehículos (velocidad del vehículo, par de la transmisión al motor, temperatura del aceite, etc.).
Equivalente conector de diagnóstico con la norma ISO / DIS 15031-3	J1962	Este documento tiene por objeto satisfacer las exigencias de un conector OBD, como es requerido por los Estados Unidos, de diagnóstico a bordo (OBD) regulaciones. Requerimientos del conector de 16 pines.
Herramienta de diagnóstico de emisiones	J1972	Detalla las funciones de CARB/EPA y los mensajes asociados.
Herramienta de diagnosis	J1978	Define las especificaciones de las herramientas de escaneo utilizadas para el OBD-II
Recomendaciones de la organización del vehículo servicio de intercambio	J2008	Incluye recomendaciones a los fabricantes a estandarizar la información de servicio del vehículo con el fin de aumentar la familiaridad técnico y reducir el tiempo de búsqueda con una fácil recuperación de datos.
Definiciones de condigo de diagnóstico	J2012	Este documento tiene por objeto definir los códigos estandarizados de diagnóstico de problemas (DTC) que de diagnóstico a bordo (OBD) se requieren sistemas de vehículos para informar cuando se detectan fallos de funcionamiento
Los mensajes de la red de	J2178	Indica el formato básico de los mensajes utilizados

comunicación de datos de clase B - Formatos de cabecera detallada y asignación de direcciones físicas		en la comunicación en el OBD-I
Mejorado E / E de diagnóstico modos de prueba	J2190	Este documento describe los valores de bytes de datos para los mensajes de diagnóstico de transmisión entre el equipo de prueba de diagnóstico, ya sea en el vehículo o fuera del vehículo, y los módulos de control electrónico del vehículo y mal funcionamiento en los automóviles
Protocolo de diagnóstico ampliada para OBD II herramientas de escaneo	J2205	Un protocolo extendido de diagnóstico para las herramientas de escaneo del OBD-II
	J2300	Recoge el proceso de conformidad de pruebas para las herramientas de escaneo OBD-II
Práctica recomendada para la programación Pass-Thru Vehículo	J2534	Definen las interfaces estandarizadas de reprogramación de los ECU(Normas Pass-Thru)

A continuación, la Tabla 2.2 describe las normas ISO el nombre estándar y la descripción [12].

Tabla 2.2 Normas ISO (Organización Internacional de Normalización) [11]

Nombre	Estándar	Descripción
<i>Vehículos de carretera - Sistemas de diagnóstico - Símbolos gráficos</i>	ISO 7639	Especifica los símbolos gráficos utilizados por los equipos de diagnóstico.
<i>Vehículos de carretera- Las pruebas de diagnóstico de los sistemas electrónicos</i>	ISO 8093	Aplicación a los sistemas electrónicos (módulos de control, sensores, actuadores e indicadores).
	ISO 9141	Especifica los requerimientos para el intercambio de información entre los ECUS y los equipos de diagnóstico externo
<i>Vehículos de carretera - red de área de controlador (CAN) - Parte 1: la capa de enlace de datos de señalización y física</i>	ISO 11898	Especifica la capa de enlace de datos y la señalización física de la red de área de controlador (CAN).
<i>Vehículos de carretera - servicios de diagnóstico unificadas</i>	ISO 14229	Especifica los requisitos independientes de enlace de datos de los servicios de diagnóstico, que permiten un probador de diagnóstico para controlar las funciones de diagnóstico en un vehículo en la Unidad de Control Electrónico

		(ECU).
<i>Vehículos de carretera - Comunicación de diagnóstico</i>	ISO 14230	Describe la capa física de diagnóstico.
<i>Vehículos de carretera - Comunicación de diagnóstico</i>	ISO 14230-2	Especifica la capa de enlace de datos de diagnóstico.
<i>Vehículos de carretera - Comunicación de diagnóstico</i>	ISO 14230-3	Describe la capa de aplicación de la diagnóstico.
<i>Vehículos de carretera - Comunicación de diagnóstico</i>	ISO 14230-4	Requerimientos para los sistemas de emisiones.
<i>Vehículos de carretera - Comunicación entre un vehículo y un equipo externo para diagnósticos relacionados con las emisiones</i>	ISO 15031-3	Especifica los requerimientos mínimos para el conector de diagnóstico, usado en la comunicación entre el vehículo y la herramienta de escaneo.
<i>Vehículos de carretera - Comunicación entre un vehículo y un equipo externo para diagnósticos relacionados con las emisiones</i>	ISO/DIS 15031- 5.4	Indica las reglas de comunicación entre el automóvil y los equipos externos utilizados para el diagnóstico de emisiones.
<i>Vehículos de carretera - Comunicación entre un vehículo y un equipo externo para diagnósticos relacionados con las emisiones</i>	ISO/DIS 15031- 6.4	Presenta las normas de comunicación entre el automóvil y los equipos de diagnóstico externos utilizados para realizar el análisis relacionado con las emisiones, define los códigos de fallas.
<i>Vehículos de carretera - Diagnósticos basados en redes de área de controlador (CAN)</i>	ISO 15765-3	Especifica la implementación de un sistema común de los servicios de diagnóstico unificados, de acuerdo con la ISO 14229-1. Da los servicios de diagnóstico y los requerimientos de programación de la memoria del servidor para todos los servidores de la red CAN de comunicación interna y el equipo de diagnóstico interno.

3 Ejemplo de aplicación

3.1 Metodología

Para esta aplicación, se utilizó un automóvil marca Nissan March, modelo 2014, versión Advance, que se muestra en la Figura 3.1. Esta medición requiere de un equipo sofisticado que tiene el Instituto Mexicano de Transporte (IMT), por tanto, el equipo registra información obtenida por la red y esta a su vez es almacenada en una computadora portátil, para su análisis. El equipo utilizado aparece en la Tabla 3.1, y atiende la nomenclatura de cada uno de los instrumentos y su respectiva imagen.



Figura 3.1 Vehículo de prueba

Tabla 3.1 Equipo de laboratorio

Dibujo	Nomenclatura de laboratorio
	Nom.274 g12 Cable de conexión para interface CAN: conector DB9 a conector OBDII con longitud de 1,5m

	<p>Nom.274 g8</p> <p>Cable de conexión para interface CAN: conector fischer de 5 vías a conector OB9 con longitud de 1m</p>
	<p>VBOX MINI (Registrador de datos de información del bus CAN y además registra datos de velocidad y posición actual mediante GPS)</p>
	<p>Nom.274 g2</p> <p>Antena GPS con conector SMA de uso rudo para VBOX MINI</p>
	<p>Nom.274 g4</p> <p>Cable de energización de VBOX MINI para vehículo: conector Fischer 2 vías a fuente de 12V</p>
	<p>Nom.291</p> <p>Sensor tipo Volante KISTLER (sensor externo al vehículo)</p>
	<p>Nom.290</p> <p>Analizador de señal de Volante KISTLER</p>

	<p>Nom.291 a</p> <p>Cable del Volante KISTLER</p>
	<p>Nom.291 d</p> <p>Cable de energía Volante KISTLER</p>
	<p>NOM. 291 C</p> <p>Cable de CAN de Volante KISTLER (DB9)</p>
	<p>Cable en "Y", 2 entradas macho y 1 hembra (fabricado)</p>

El equipo necesario para obtener información del bus CAN es un convertidor CAN a USB, o bien un Registrador de CAN, en este caso, el VBOX MINI realiza este trabajo, otro aspecto importante es el conector OBDII, que comúnmente se consigue por separado al registrador.

El sensor volante, servirá para registrar el ángulo de giro, la velocidad y el par generado en el volante, este sensor cuenta con una salida CAN, y será agregado al bus de CAN que ya cuenta el vehículo.

Un aspecto importante por considerar es la identificación del protocolo de comunicación que utilice el vehículo del cual se obtendrán datos. Esto es porque, sin importar que un vehículo cuente con un conector OBDII, es posible que no utilice el protocolo de comunicación CAN.

Para identificar cuando un vehículo cuenta con un interface con protocolo CAN, primeramente se debe asegurar que los pines número 6 y 14 estén presentes en

el conector de OBDII, si es así; hay que verificar que exista una diferencia de voltaje entre esas terminales o respecto a tierra, la Figura 3.2 presenta la medición con el osciloscopio entre el pin de tierra (Pin 4 de OBDII) y el pin CAN_High (Pin 6 de OBDII) o el pin CAN_Low (Pin 14 de OBDII), con el vehículo encendido, deberá ver la presencia de pulsos en la señal, las cuales representan la información transmitida por alguna de las ECU; es importante notar que con solo ver los pulsos de la señal es muy complicado identificar el mensaje, es por ello que se usara un registrador de mensajes de CAN. Si no existen los pines, o bien existen pero no se encuentra un voltaje presente, es posible que el vehículo no cuente con el protocolo CAN para comunicarse.

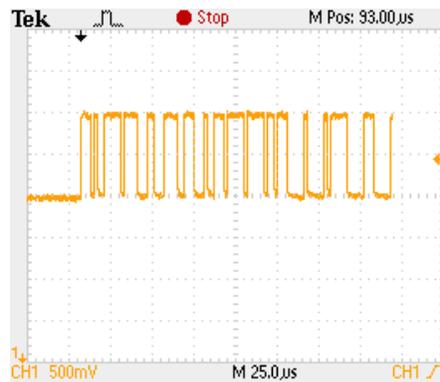


Figura 3.2 Tren de pulsos CAN_High

En la Figura 3.3 se observa que la diferencia de voltaje entre la tierra y el pin CAN_High (Pin 6 de OBDII) varía entre 2.5 v y 3.5 v, además, que la medición entre el pin de tierra y el pin CAN_Low varía entre 2.5 v y 1.5 v, como muestra la Figura 3.2.

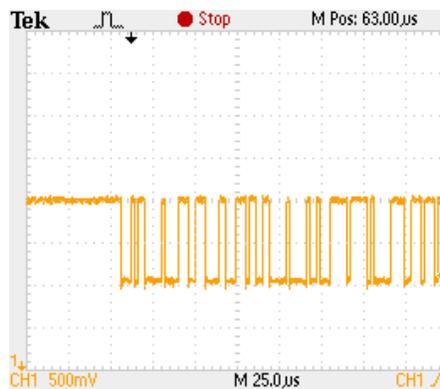


Figura 3.3 Tren de pulsos CAN_Low

Una vez realizada la medición de voltaje y detectada la presencia de un tren de pulsos en los pines de la conexión de diagnóstico del vehículo, se prosigue a buscar el diccionario de CAN del vehículo que define la identificación e interpretación de cada mensaje, el diccionario de CAN brindará una descripción de cada mensaje, de que dispositivo proviene, el formato de datos (Intel o Motorola) y

la fórmula a aplicar para interpretar la información enviada. Como se ha mencionado el diccionario CAN para vehículos particulares de pasajeros, no es estandarizado, es decir, los mensajes de CAN son diferentes para cada versión del vehículo y dependen del fabricante, por ello, en algunos casos es difícil obtener esta información, además que los fabricantes en la gran mayoría no la proporcionan. Un ejemplo del diccionario de CAN de un vehículo NISSAN aparece en la Tabla 3.2.

La información de la Tabla 3.2 muestra el ID del mensaje, de quién proviene, el intervalo de tiempo en que se envía, la descripción y la fórmula para obtener el parametro físico y las unidades de medida.

Una vez obtenido el diccionario de CAN, se utiliza el equipo de lectura de mensajes CAN o registrador, en este caso, el "CANLINK" para obtener todos los mensajes presentes el bus CAN del vehículo, estos mensajes podrán ser interpretados con la ayuda de diccionario de CAN. Es posible que no todos los mensajes que están en un diccionario de CAN aparezcan en los mensajes obtenidos del Bus, esto se debe a las diferencias en el equipamiento entre los modelos de un mismo tipo de vehículo, y hace que se encuentren equipados con diferentes sistemas de control electrónico, lo cual representa un cambio en el precio del vehículo.

Antes de iniciar el registro de los mensajes, es necesario indicar al registrador de mensajes la configuración del bus CAN que será leído, en este caso, la configuración del bus para el vehículo de prueba es la siguiente: formato de mensaje de 11bits y frecuencia de 500kbps. Una vez implementado estos parámetros, es posible iniciar el registro de los mensajes por medio de un PC donde se almacena la información capturada por el registrador (CANLINK).

Una vez obtenido el archivo de registro de los mensajes de CAN, se procede a realizar la conversión de datos; es decir, aplicar la fórmula para convertir la información de un mensaje de CAN a la variable física que le corresponde (por ejemplo km/h, RPM, etc.). En la conversión de datos hay que tomar en cuenta que la información arrojada por un mensaje se encuentra en el sistema binario (base 2), o hexadecimal (base 16); por lo tanto, se tiene que convertir al sistema decimal (base 10) y tomar en cuenta que pueden existir valores negativos representados en formato binario.

Tabla 3.2 Diccionario de CAN

ID	Enviado por	Intervalo	Byte	Bit	Descripción	Descripción	Notas
284	ABS	20ms	A		Velocidad de rueda frontal derecha	Parte alta (High byte)	KPH = (A + B)/(2*100)
			B		Velocidad de rueda frontal derecha	Parte baja (Low byte)	
			C		Velocidad de rueda frontal izquierda	Parte alta (High byte)	KPH = (C + D)/(2*100)
			D		Velocidad de rueda frontal izquierda	Parte baja (Low byte)	
			E		Velocidad del vehículo	Parte alta (High byte)	KPH = (E + F)/(2*100)
			F		Velocidad del vehículo	Parte baja (Low byte)	
			G				
			H				
285	ABS	20ms	A		Velocidad de rueda trasera derecha	Parte alta (High byte)	KPH = (A + B)/(2*100)
			B		Velocidad de rueda trasera derecha	Parte baja (Low byte)	
			C		Velocidad de rueda trasera izquierda	Parte alta (High byte)	KPH = (C + D)/(2*100)
			D		Velocidad de rueda trasera izquierda	Parte baja (Low byte)	
			E				
			F				
			G				
			H				
180	ECM	10ms	A		RPM	Parte alta (High byte)	RPM = (A*256 + B)*0.125
			B		RPM	Parte baja (Low byte)	

3.2 Información de la interpretación de la transmisión de registros internos protocolarios del vehículo

La información de la Tabla 3.2 muestra cómo convertir el mensaje con el ID 284 enviado por la unidad electrónica del ABS y que contiene la información de la velocidad del vehículo, y el ID180 que contiene el número de revoluciones por minuto enviado por el ECM (módulo de control electrónico); en información de la Tabla 4.2, cada byte del mensaje está referenciado por una letra del abecedario. Por ejemplo, para obtener la velocidad de la llanta frontal derecha, hay que tomar en cuenta el byte A y byte B del ID284, uno de los cuales es el de mayor peso y otro el de menor peso, según el diccionario de CAN la fórmula es la siguiente: $(A*256 + B)/(2*100)$, donde el Byte A es el de mayor peso y el Byte B es el de menor peso; por otro lado, para obtener la información de las RPM se utilizan el byte A y el byte B del mensaje con ID180 aplicando la fórmula $RPM = (A*256 + B)*0.125$.

En la Figura 3.4 aparece un ejemplo de los mensajes recibidos por el registrador conectado al bus CAN del vehículo, los mensajes son enviados por diferentes ECUs y conectados al bus del vehículo.

ID	Type	DLC	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	Time	Count
0 160	11R	7	31	F3	8F	06	06	FF	83			1440703199.320	1514
0 180	11R	8	16	9F	30	F3	1F	00	36	10		1440703199.300	1168
0 215	11R	8	FF	30	FF	06	FF	FF				1440703199.316	613
0 216	11R	2	46	40								1440703199.319	900
0 320	11R	8	03	03	30	06	00	30	06	00		1440703199.329	156
0 385	11R	8	00	00	30	06	00	30	16	81		1440703199.311	735
0 384	11R	8	06	00	30	06	00	30	1A	AG		1440703199.311	909
0 396	11R	2	06	80								1440703199.311	411
0 300	11R	1	06									1440703199.263	476
0 390	11R	8	03	6A	30	06	00	30	7E	40		1440703199.162	710
0 325	11R	8	03	02	30	06	02	30	00	00		1440703199.149	81
0 515	11R	8	00	00	30	06	00					1440703199.150	96
0 292	11R	8	FF	FF	FF	FF	FD	00	06	02		1440703199.291	727
0 354	11R	8	06	00	30	06	00	06	04	00		1440703199.292	270
0 202	11R	8	06	00	30	06	00	13	06			1440703199.312	877
0 355	11R	7	06	00	30	06	00	30	46			1440703199.292	179
0 323	11R	8	44	00	77	F3	00	9C	06	7F		1440703199.324	110
0 182	11R	8	FF	00	30	06	00	10	06	C8		1440703199.301	792
0 179	11R	8	20	00	D6	A0	00	30	06	00		1440703199.260	684
0 622	11R	8	12	16	FF	06	87	88	06	00		1440703199.790	70
0 600	11R	8	06	06	30	06	00	30	06	00		1440703199.269	130
0 584	11R	8	06	00	30							1440703199.620	67
0 625	11R	8	32	00	FF	10	10	00				1440703199.960	73
0 581	11R	8	54	36	30	06	00	02	82	FF		1440703199.343	10
0 580	11R	8	08	00	30	06	00	30	06	60		1440703199.226	1

Figura 3.4 Recopilación de datos del Bus CAN

Para la interpretación de la información obtenida por los sensores del vehículo, se presenta un ejemplo de las mediciones. Para cada mensaje, es necesario realizar la conversión de unidades, ya que son diferentes tipos de sensores los utilizados para medir los distintos parámetros físicos.

Uno de los mensajes tiene información de las RPM del motor del vehículo, en este caso es el ID 180, la Figura 4.3 muestra que los valores del byte A y del byte B son: 22 y 8F, respectivamente, ambos en el sistema hexadecimal, su respectiva

conversión al sistema decimal sería la siguiente: 20 y 143. Una vez con los valores en decimal, se aplica la fórmula de $RPM = (22 \cdot 256 + 143) \cdot 0.125$, por tanto, las RPM del motor en ese instante fueron de 721.8.

Hasta ahora, se ha descrito cómo registrar los mensajes que provienen de los diferentes ECUs conectados al bus CAN del vehículo; no obstante, también es importante exponer cómo agregar una nueva Unidad de Control Electrónica al bus, por ejemplo, agregará al bus un Sensor tipo Volante KISTLER que se comunica mediante el protocolo CAN. Antes de agregar otro sistema a un bus, es necesario conocer en su totalidad los mensajes en el Bus, esto es para que el nuevo equipo se agregará al bus sea configurado para transmitir mensajes con identificadores (IDs) diferentes a los ya existentes en el bus, de esta forma al agregar este elemento al bus, el registrador de mensajes pueda leer tanto los mensajes del vehículo, como también los mensajes enviados por el sensor de ángulo del volante. Para configurar el sensor de volante se requiere del software KiCenter y conocer los parámetros con las que opera el Bus. En la Figura 3.4 se muestra la configuración del sensor de volante compatible con el Bus actual, así también se observa la configuración de los mensajes que serán enviados por el sensor, los cuales son diferentes a los de la Figura 3.5

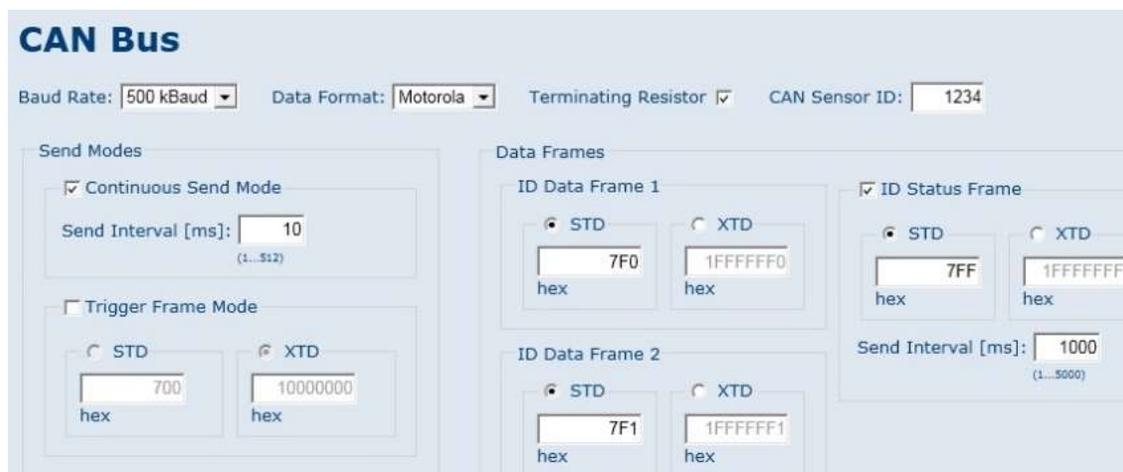


Figura 3.5 Configuración del volante de medición de prueba

Para finalizar, el registrador de datos CAN LINK es remplazado por el VBOX MICRO; este último, además de registrar la información de los mensajes de CAN, tiene la posibilidad de realizar la conversión de los mensajes a la variable física que se está midiendo y así también almacena la posición geoespacial, la velocidad y distancia recorrida del vehículo, entre otros parámetros. En la Figura 3.5 se observa un ejemplo de la configuración del VBOX MICRO con el software Realogic-VCISetup para obtener las RPM del motor, con base en la información del diccionario de CAN de la Tabla 3.2, este procedimiento se realiza para cada uno de los mensajes que se desea obtener.

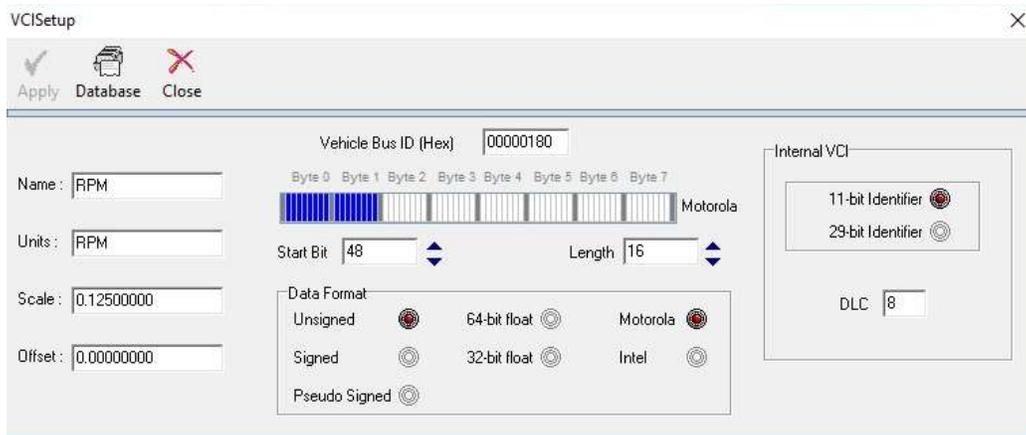


Figura 3.5 Configuración de VBOX MICRO para registrar mensajes

El diagrama de conexión para conectar todos los elementos al Bus CAN después de configurar el VBOX MICRO, y el sensor de volante, aparece en la Figura 3.6.

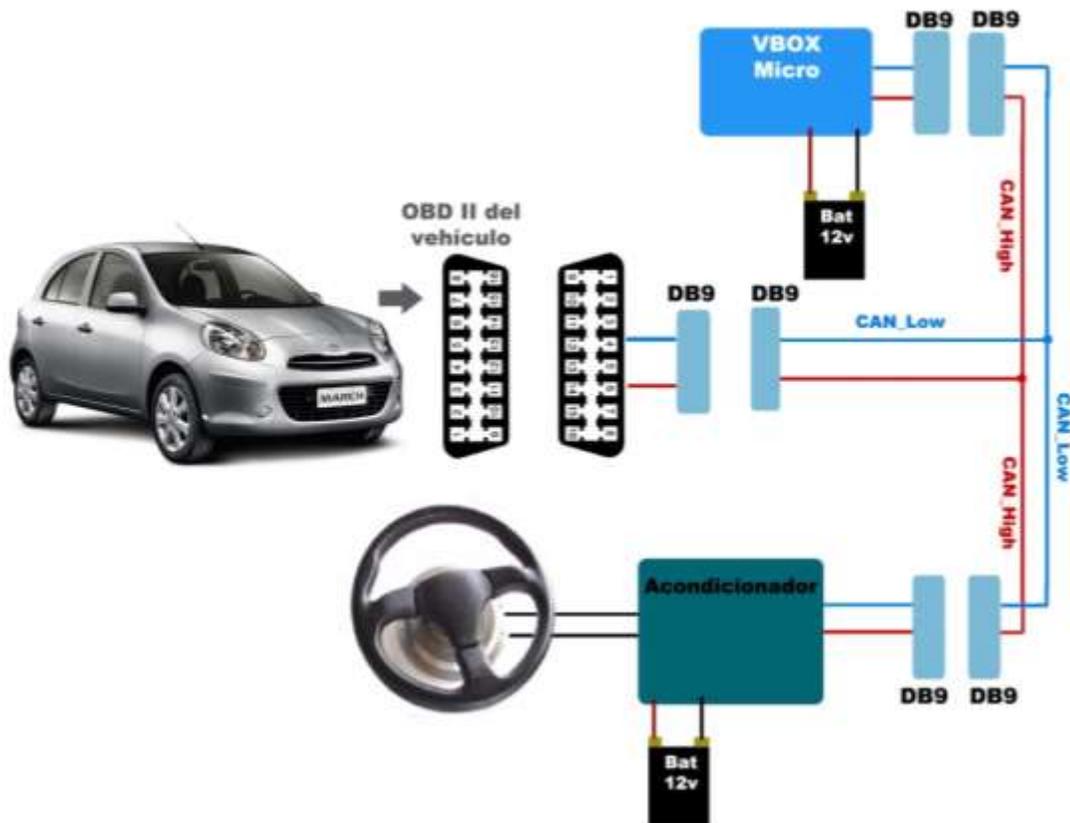


Figura 3.6 Diagrama de conexión del vehículo de prueba

4 Resultados de las pruebas de conexión

4.1 Definición de pruebas

Las pruebas realizadas para tomar las mediciones de los mensajes de CAN del vehículo son las siguientes:

Medición de RPM:

Las pruebas consisten en obtener las revoluciones por minuto que la unidad electrónica del vehículo registra del motor.

Para realizar la prueba, el equipo es conectado como describe la Figura 3.4. Se pone en marcha el vehículo y se cambia la posición del embrague a neutral, para evitar el movimiento; posteriormente se inicia la captura de la información de las RPM, y a continuación se realizan las pruebas cambiando la posición del pedal del acelerador en diferentes posiciones, monitoreando al mismo tiempo las revoluciones por minuto que marca el tacómetro del vehículo. En la prueba hay que mantener de forma constante por lo menos durante 10 segundos las siguientes RPM (2000, 3000, 4000 5000, 2000, y en Ralentí).

Es necesario aclarar que por lo sensible del pedal del acelerador del vehículo, no es posible mantener el valor constante en todo momento y existen pequeños cambios en la medición durante la prueba.

Medición de Velocidad:

La prueba comprende un recorrido por la pista de pruebas del Instituto Mexicano del Transporte, con la finalidad de obtener la velocidad del vehículo por medio del equipo del VBOX y la velocidad de cada una de las llantas que arroja el sistema electrónico del vehículo.

La prueba inicia con el vehículo encendido y completamente detenido, posteriormente se acelera el vehículo hasta mantener una velocidad entre los 55 y 65 km/h por un tiempo de dos minutos y a continuación se frena el vehículo, hasta detenerlo completamente.

Medición del ángulo de giro del volante

Para realizar la medición del ángulo de giro del volante, se equipa al vehículo con un volante y su acondicionador de señal de la marca KISTLER, que arroja la

información del volante mediante el protocolo CAN, por esto el volante es conectado al bus de CAN del vehículo.

La prueba del ángulo de giro consiste en posicionar el volante del vehículo al centro (cuando las llantas se encuentran en posición para circular en dirección recta) y el vehículo se encuentre encendido, posteriormente se pulsa el botón para establecer el ángulo cero en el volante, una vez hecho esto, se procede a realizar la prueba partiendo de la posición de 0° y girando el volante en el sentido de las agujas del reloj y aumentando progresivamente el ángulo y deteniendo el giro por al menos un segundo cada vez que se alcance un valor múltiplo de 90°, continuando con el giro hasta llegar al máximo giro del volante del vehículo; posteriormente, se regresa el volante a la posición de 0° y se repite la prueba pero en sentido contrario al movimiento de las agujas del reloj.

4.2 Resultado de las pruebas

Con base en las pruebas definidas en la sección 4.1, se realizó la instrumentación en el vehículo siguiendo el diagrama de conexiones planteado en la Figura 4.1. Las pruebas fueron realizadas de forma independiente, con el vehículo Nissan March, y como se ha mencionado anteriormente, se utilizó para las pruebas el módulo de VBOX MICRO que se encarga de registrar los mensajes provenientes de los sistemas electrónicos del vehículo y del sistema del sensor tipo volante, además de obtener de forma independiente la velocidad del vehículo y la posición georreferenciada.

Para el caso de las pruebas con las revoluciones por minuto del motor del vehículo, la Figura 4.1 muestra la gráfica correspondiente a las RPM que presentó el vehículo durante la prueba, cabe señalar que se mantuvo la posición del acelerador tomando como referencia la guja del tacómetro del vehículo.

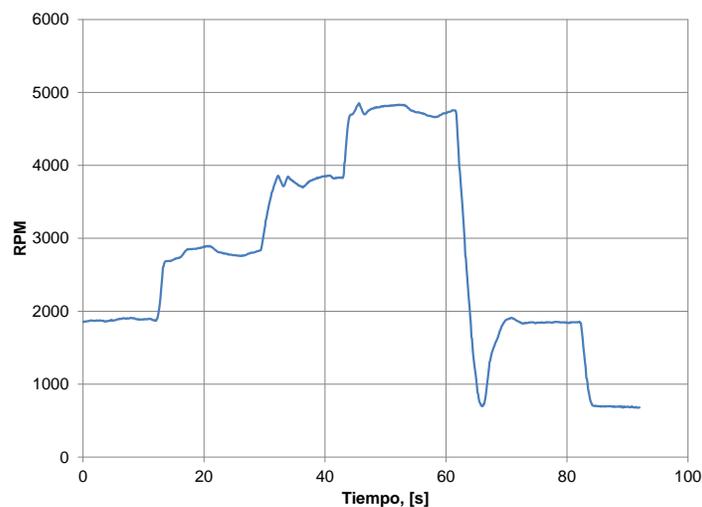


Figura 4.1 Medición de las RPM en tiempo real

En la prueba de velocidad, se obtiene la velocidad de cada una de las cuatro ruedas del vehículo, tal como muestra la Figura 4.2, en esta gráfica se observa una diferencia entre la velocidad marcada por cada una de las llantas y la calculada con base el GPS del VBOX, MICRO, la prueba fue realizada siguiendo la velocidad marcada en la aguja de velocidad del tablero del vehículo, es decir, la velocidad arrojada por el vehículo es generalmente mayor a la real, posiblemente por cuestiones de seguridad del fabricante, subestima el cálculo de esta. Para esta prueba, se observa que la velocidad de las cuatro llantas es ligeramente la misma, debido que la prueba fue en dirección recta.

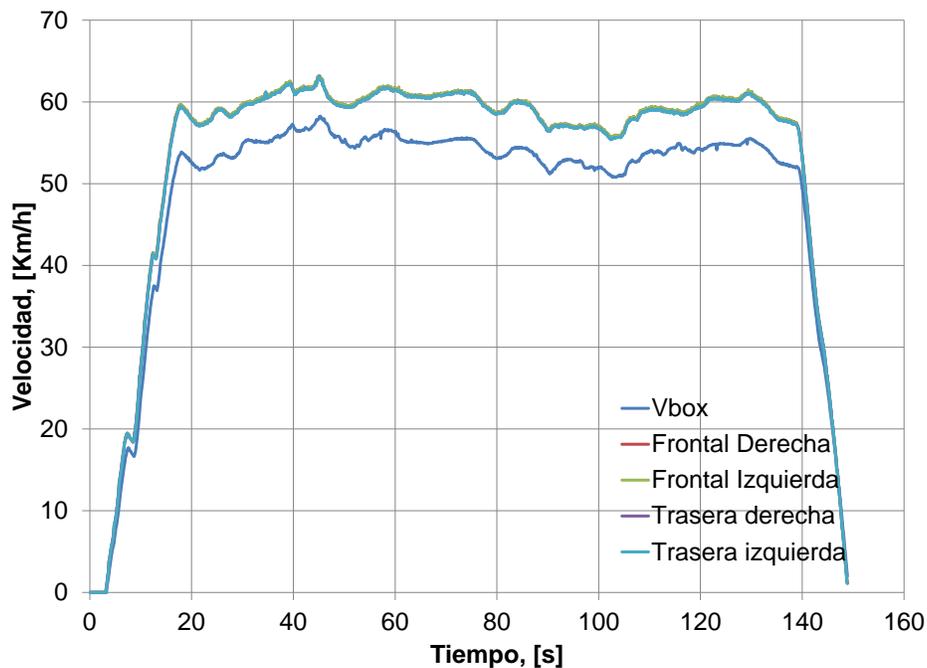


Figura 4.2 Medición de las velocidad de las cuatro ruedas del vehículo en tiempo real

Por último, en la prueba para obtener el ángulo de giro del volante, fue instalado un sensor tipo volante que transmite la información del ángulo de movimiento y otros parámetros mediante el Bus CAN, de tal forma que se puede obtener el ángulo de giro del volante en todo momento. En la Figura 4.3 se observa el cambio en la posición angular del volante, que corresponden a los movimientos realizados en el volante, definidos en la prueba.

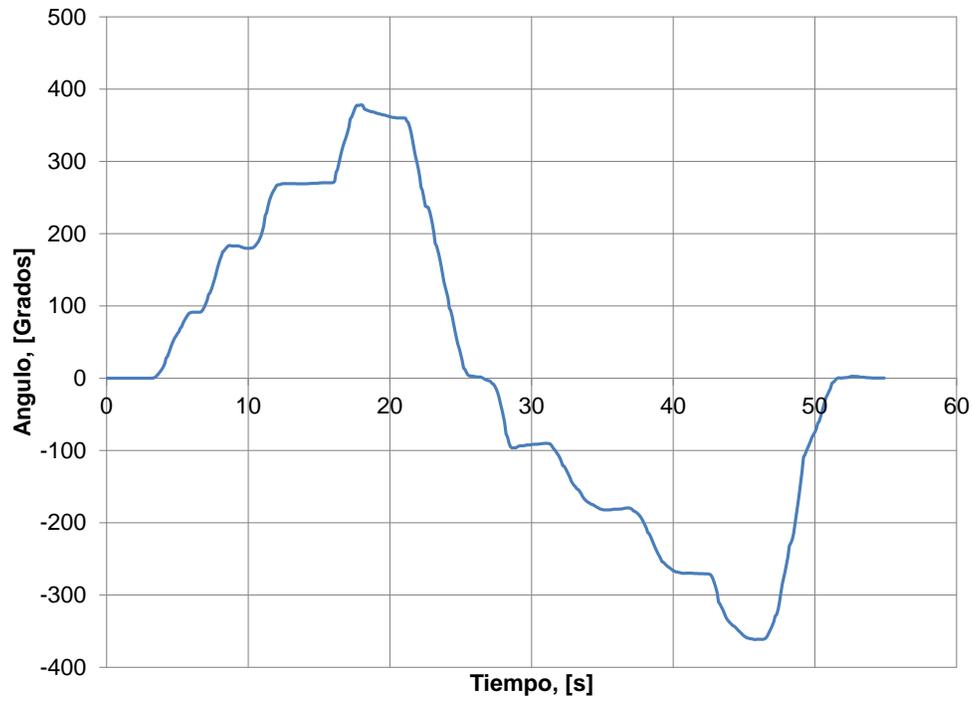


Figura 4.3 Medición de las RPM en tiempo real

5 Conclusiones

Es inobjetable que el bus CAN es y seguirá siendo usado para la comunicación entre los dispositivos que integran los vehículos que hoy son fabricados, es importante destacar que sus características son ideales para su correcta operación, desde los vehículos ligeros hasta los vehículos de autotransporte y de fuera de carretera. Por ello la importancia de recabar información de los protocolos ya existentes y su aplicación, con la finalidad de realizar mediciones en tiempo real de las lecturas de los sensores ya equipados en los vehículos.

En la actualidad cada vez los vehículos se encuentran más equipados y cuentan con mayores elementos electrónicos para mejorar el confort del usuario y mejorar la seguridad y operación, y es común ver que cada vehículo de cada fabricante tiene su propio diseño de equipamiento, desde los vehículos de gama baja que no incluyen incluso algún sistema de seguridad activa como el ABS, hasta los de alta gama que incluyen sistema de estabilidad electrónica; es por estos aspectos que la información que arroja un vehículo mediante el sistema de diagnóstico difiere, principalmente para los vehículos ligeros.

En el principio de la aplicación del diagnóstico en los vehículos se tenía la información diferida, por tanto también los conectores para el diagnóstico de los vehículos comerciales eran diferentes, al menos hasta el año de 1996, partir de ese año fue declarado obligatorio el uso de OBDII con el cual se estandarizó el conector de diagnóstico para los vehículos vendidos en los Estados Unidos de América, es por ello que resulta común ver en autos de modelos anteriores con conectores de diagnóstico no compatibles, pues no estaba estandarizado.

Con base en los resultados, se puede concluir que la implementación de la información enviada por el bus CAN de un vehículo puede ser aprovechada para las pruebas que se desarrollan en el área de Dinámica Vehicular, por ejemplo en pruebas de maniobrabilidad en las cuales es necesario obtener la posición de las ruedas de un vehículo mediante la posición del volante, la posición del pedal del freno para las pruebas de frenado, las RPM del vehículo en pruebas de aceleración, y en algunos casos los parámetros de los sensores de oxígeno y el nivel de tanque de combustible para estimar consumo o de forma indirecta las emisiones de contaminantes. En los resultados obtenidos, se puede observar que existe una clara diferencia en la velocidad reportada por el vehículo, presentando una sobre estimación de la velocidad, en promedio de un 10% en comparación del equipo de referencia VBOX, para velocidades mayores a 20 km/h. En el caso de las RPM, los valores coinciden con lo observado por el tacómetro al momento de ejecutar la prueba.

Además de las mediciones obtenidas de los sensores equipados en el vehículo, se agregó otro instrumento de medición al bus CAN, con el que fue medido el ángulo de giro del volante, en esta prueba se confirma la conexión de tipo multidifusión con envío de los datos a múltiples destinos simultáneamente, en la prueba se integró el sensor tipo volante como si fuera una unidad electrónica más en el vehículo. La información obtenida del sensor coincidió con el ángulo medido físicamente y lo definido en la prueba.

Las mediciones realizadas en el actual documento son una muestra clara de que es posible obtener información en tiempo real de un vehículo, con la finalidad de proyectar el análisis en estudios de vehículos de autotransporte, para ello, una extensión de este análisis sería aplicada para obtener información de los sensores de vehículos pesados, tomando como base la información proveniente de la norma SAE J1939, la cual representa grandes ventajas, debido a que proporciona información total de la capa de aplicación de la comunicación, es decir, determina la forma en que el vehículo debe enviar los mensajes por el conector de diagnóstico y la forma de interpretarlos, con ello sería posible conocer la aceleración lateral, el ángulo de giro, el nivel de derrape de un vehículo, las emisiones de contaminantes, el par entre otros parámetros que extenderían los alcances del Área de Dinámica Vehicular del Instituto Mexicano del Transporte, para el análisis dinámico de los vehículos. Si bien, las pruebas realizadas en el actual documento son basadas en lo definido en la norma ISO 11898, el cambio para un vehículo pesado, según la norma J1939 sería mínimo.

Es importante mencionar que las interfaces y conexiones para el diagnóstico del vehículo dependen del año y modelo de la unidad, ya que los diferentes fabricantes de vehículos ligeros utilizan diferentes protocolos de comunicación, a diferencia de los vehículos de alta demanda o pesados, así mismo, en cada vehículo la ubicación del conector para el diagnóstico automotriz es diferente.

Bibliografía

1. National Instrument (2016). Diseño y Prueba de ECU usando Productos de National Instruments. En línea, <http://www.ni.com/white-paper/3312/es/>. 2016
2. National Instrument (2016). Introducción a CAN. En línea, <http://www.ni.com/white-paper/2732/es/>. (2016)
3. Keith McCord. (2011). Automotive Diagnostic Systems. North Branch, Estados Unidos de América: CarTech.
4. Steve V. Hatch. (2011). Computerized Engine Controls. Estados Unidos de America: Cengage Learning.
5. Staff Editorial de Electrónica y Servicio. (2014). 2 temas fundamentales de componentes de audio. Electrónica y Servicio, 164, 54.
6. Ljubo Vlacic. (2009). Intelligent Vehicle Technologies. Gran Bretaña: Butterworth–Heinemann.
7. Yu Zhu. (2010). Implementation of a CAN Bus based Measurement System on an FPGA Development Kit. Alemania: diplom.de.
8. National Instrument (2016). FlexRay Automotive Communication Bus Overview <http://www.ni.com/white-paper/3352/en/>
9. Sistemas eléctricos auxiliares del vehículo (2011). Jose María Llanos. Editorial Paraninfo.
10. Society of Automotive Engineers (2016). En línea. www.sae.org
11. International Organization for Standardization (2016). Standards catalogue. En línea, http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=46706



Carretera Querétaro-Galindo km 12+000
CP 76700, Sanfandila
Pedro Escobedo, Querétaro, México
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610
Fax +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>