



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

# Programa para detección y adquisición de variables de operación de vehículos bajo el protocolo CAN

---

Mauricio Eliseo Cruz Acevedo  
Manuel de Jesús Fabela Gallegos  
David Vázquez Vega  
Oscar Flores Centeno  
José Ricardo Hernández Jiménez  
Luis Gerardo Sánchez Vela

Publicación Técnica No. 661  
**Sanfandila, Qro.**  
**2021**

ISSN 0188-7297



Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural (CIVIE) del Instituto Mexicano del Transporte, por el Ing. Mauricio Eliseo Cruz Acevedo, el Dr. Manuel de Jesús Fabela Gallegos, el M.C. David Vázquez Vega, el M.C. Oscar Flores Centeno, el M.C. José Ricardo Hernández Jiménez y el Ing. Luis Gerardo Sánchez Vela, investigadores del Área Dinámica Vehicular de la misma Coordinación. Se reconoce y agradece el apoyo y soporte brindado por el Dr. Miguel Martínez Madrid.

Este documento es el producto final del proyecto de investigación interna EI 24/19: Desarrollo de software para la detección y adquisición de variables de operación en vehículos a través del protocolo CAN.



# Contenido

---

Índice de figuras .....	v
Índice de tablas .....	vii
Sinopsis.....	ix
Abstract .....	xi
Resumen ejecutivo .....	xiii
Introducción.....	1
1. Antecedentes .....	3
1.1 Protocolos de comunicación .....	3
1.2 Breve historia del CAN.....	3
1.3 Aplicabilidad del CAN.....	5
2. CAN y sus sensores.....	7
2.1 Funcionamiento del CAN .....	7
2.2 Características y elementos principales del CAN.....	8
2.3 Ruta de información CAN.....	10
2.4 Diagnóstico a bordo .....	13
2.5 Conectores de diagnóstico.....	14
2.6 Tipos de sensores en vehículos.....	16
3. Hardware y Software.....	27
3.1 Tipos de escáneres USB/CAN .....	27
3.2 Desarrollo del programa.....	29
3.3 Hardware empleado y conexión.....	34
4. Ejemplo de aplicación .....	37

4.1 Implementación en vehículos Ligeros .....	37
4.2 Implementación en vehículos pesados .....	41
Conclusiones.....	45
Referencias .....	47
Anexo 1.....	49

## Índice de figuras

---

Figura 2.1 Red de área de controladores.....	7
Figura 2.2 Unidad de control conectada a una red CAN .....	10
Figura 2.3 Ejemplo de trama de datos CAN.....	13
Figura 2.4 Indicador de checar el motor.....	13
Figura 2.5 Terminales de conector OBD-II [2].....	15
Figura 2.6 Conector de 9 y 6 pines [2] .....	15
Figura 2.7 Sensor de cigüeñal y árbol de levas.....	17
Figura 2.8 Señal inductiva vista en osciloscopio .....	18
Figura 2.9 Señal de medidor de flujo de aire.....	19
Figura 2.10 Curva de termistor NTC .....	19
Figura 2.11 Sensor de temperatura del refrigerante y señal generada .....	20
Figura 2.12 Sensor de efecto Hall y señal digital producida.....	21
Figura 2.13 Acelerómetro piezoeléctrico [6] .....	21
Figura 2.14 Elementos del sistema ESP [7] .....	22
Figura 2.15 Sensor de oxígeno .....	23
Figura 2.16 Señal de sensor de presión de combustible.....	24
Figura 2.17 Sensor de lluvia [10].....	25
Figura 3.1 PCAN-USB.....	27
Figura 3.2 ELM327 USB .....	28
Figura 3.3 USB-8502 [13].....	29
Figura 3.4 RLACS182 [14] .....	29
Figura 3.5 Ejemplo de estructura productor/consumidor [15].....	30

Figura 3.6 Ventana de inicio y conexión.....	31
Figura 3.7 Ventana de configuración de identificador .....	33
Figura 3.8 Ventana de variables filtradas .....	34
Figura 3.9 Puerto OBD-II en vehículo .....	34
Figura 3.10 Cable para conector OBD-II y conector de 9 pines J1939 .....	35
Figura 4.1 Movimientos de traslación y rotación del vehículo .....	38
Figura 4.2 Señal de 2 Bytes .....	39
Figura 4.3 Señal de RPM con ajuste de escala.....	40
Figura 4.4 Señales de velocidad y pedal de acelerador .....	41
Figura 4.5 Información sobre el PGN 61444 [16] .....	42
Figura 4.6 SPN velocidad del motor [16].....	43
Figura 4.7 Orden de los SPN en el PGN 61444.....	43
Figura A1.1 Señal de RPM y pedal de freno. ....	49
Figura A1.2 Señal de velocidad y pedal del acelerador. ....	49
Figura A1.3 Señal de consumo de combustible y porcentaje de torque.....	50
Figura A1.4 Curva de torque de un motor DD15.....	50

## Índice de tablas

---

Tabla 3.1 Requisitos mínimos para instalación de software.....	35
Tabla A1.1 PGN para vehículo International Pro Star modelo 2013.....	51
Tabla A1.2 PGN para vehículo Freightliner DD15 Cascadia 2018 .....	52
Tabla A1.3 PGN para autobús Irizar I8 Integral 2018.....	54



# Sinopsis

---

En este trabajo se describe el desarrollo de un programa para adquirir y filtrar datos provenientes del bus de datos en los vehículos a través del protocolo de comunicación CAN. Esto, con el propósito de obtener información procedente de los sensores propios del vehículo y puedan utilizarse como complemento en esquemas de instrumentación de vehículos en pruebas de desempeño. La aplicación del programa permite elegir señales de los sensores y visualizar su comportamiento en tiempo real, permitiendo revisar y analizar información durante la operación del vehículo.

Como base del desarrollo, se describen también las características esenciales de funcionamiento del protocolo de comunicación CAN, el módulo de adquisición de datos elegido para la aplicación y el proceso de registro y almacenamiento de los datos colectados. En un ejemplo de aplicación se evidencia la utilidad de contar con la información generada por los vehículos, particularmente cuando los esquemas externos de instrumentación pueden verse limitados, o para detallar otros aspectos relevantes propios de la operación y desempeño del vehículo.



# Abstract

---

In this work, the development of a program to acquire and filter data from the data bus in vehicles through the CAN communication protocol is described. This, in order to obtain information from the vehicle's own sensors that can be used as a complement for vehicle instrumentation schemes in performance tests. The application of the program allows choosing signals from the sensors and visualizing their behavior in real time, allowing reviewing and analyzing information during the vehicle operation.

As a fundamental part for the program development, the essential operating characteristics of the CAN communication protocol are also described, as well as the data acquisition module chosen for the application and the process of recording and storing the collected data. An application example shows the information usefulness generated by the vehicles, particularly when the external instrumentation schemes may be limited, or to detail other relevant aspects of the vehicle's operation and performance.



## Resumen ejecutivo

---

Actualmente, los vehículos cuentan con gran cantidad de sensores y actuadores controlados electrónicamente como parte de su funcionamiento, por lo cual requieren de sistemas o protocolos de comunicación para su monitoreo y control. A través de esos protocolos y de los accesorios físicos se transmite una gran cantidad de información que, procesada por una computadora central, dirige a una operación más confiable y abona a la seguridad de los usuarios de los vehículos. El sistema de diagnóstico más usado en la actualidad es el puerto de comunicación OBD-II, el cual permite conocer si existe algún código de error o falla en el motor (DTC, *Diagnostic Trouble Code*). Adicionalmente, el puerto brinda información de todos los sensores y actuadores con los que cuenta el vehículo, lo cual es posible gracias al protocolo de comunicación de la Red de Área de Control (CAN, *Controller Area Network*).

Este trabajo se enfoca en el desarrollo de un programa sustentado en la plataforma LabVIEW® que, con base en un módulo físico comercial, se logra una interfaz para la visualización, selección y almacenamiento de datos provenientes de los sensores instalados en vehículos ligeros o pesados. En este sentido, en el capítulo 1 se hace una breve descripción sobre los antecedentes e historia que sustenta la tecnología del bus de datos CAN. Brevemente, en el capítulo 2 se profundiza sobre el funcionamiento del bus CAN, sus características y elementos principales, así como la conformación y ruta que sigue la información transmitida a través del par de cables trenzados, común para el manejo de señales en ese protocolo. Este capítulo incluye la descripción de los tipos básicos de conectores de diagnóstico, así como diferentes tecnologías de sensores utilizadas en un vehículo. En el capítulo 3 se describen tanto equipos como el programa de adquisición de los datos disponibles en el CAN de cualquier vehículo. El capítulo 4 presenta los resultados de las pruebas de validación de funcionamiento del programa desarrollado, tanto para su aplicación en vehículos ligeros como en vehículos pesados. Finalmente se presentan las conclusiones derivadas de este trabajo.

El propósito general del programa es contar con una interfaz amigable para coleccionar datos transferidos por el protocolo CAN en el vehículo, con capacidad para filtrar los identificadores de sensores de interés. El programa también tiene la capacidad de generar un reporte compatible con una hoja de cálculo, con los datos decodificados de las señales de los sensores, incluyendo los respectivos factores de conversión, de compensación y de ajuste de desvío (*offset*) cuando así se requiere. Así mismo, el programa ofrece al usuario la lista de todos los identificadores suministrados por el vehículo, lo que permite elegir los parámetros o variables que desea adquirir. Estos parámetros pueden desplegarse en una interfaz gráfica de visualización simultánea de las señales generadas por los sensores elegidos.

El programa puede emplearse para obtener información en tiempo real sobre el estatus de los sensores y sus señales. Esta característica lo potencia para determinar la existencia o adecuado funcionamiento de sistemas de seguridad en un vehículo, así como para complementar esquemas de instrumentación y adquisición de datos. Esto último, particularmente útil como apoyo en esquemas de evaluación de las características de desempeño dinámico y operación del vehículo aprovechando la información de sus propios sensores.

# Introducción

---

Anteriormente, diagnosticar las fallas en los vehículos era un tema pragmático sustentado en inspecciones visuales y auditivas; es decir, por medio de la detección de ruidos “anormales” durante la operación del vehículo. Lo anterior, debido a que la mayoría de los sistemas con los que contaban los vehículos eran de acción mecánica y no existía gran cantidad de sensores digitales que facilitaran el monitoreo de los sistemas con los que contaban los vehículos.

Estos esquemas de diagnóstico fueron superados cuando surgió y se implementó la tecnología de diagnóstico a bordo (*On Board Diagnostics*, OBD), la cual fue desarrollada para tener un mejor control de las emisiones contaminantes producidas por los vehículos automotores. Por esto, el primer sistema de este tipo se enfocó al control de los componentes esenciales vinculados con la generación de los gases contaminantes del sistema de escape y, por varios años, se utilizó para la detección inmediata, indicación de incrementos significativos y para el control de emisiones nocivas.

El avance de la tecnología en la industria automotriz no sólo ha exigido mayores prestaciones de los sistemas de comunicación y de los sistemas de control del vehículo, sino también mejoras en las tecnologías de sensores, lo cual ha generado sistemas compactos, pero complejos. Adicionalmente, al paso del tiempo es mayor la necesidad de monitorear o medir diversas variables físicas en los vehículos de una manera fácil y eficiente. En cada nueva generación de vehículos se observan sistemas de seguridad, confort y entretenimiento cada vez más sofisticados, lo que ha incrementado la cantidad de sensores y actuadores con que son equipados.

Actualmente existen dispositivos que permiten monitorear gran diversidad de esos sensores y actuadores, ya sea a través de equipos especializados, de aplicaciones móviles o por medio de programas de computadora. La mayoría de estos dispositivos se enfocan al monitoreo de los códigos de falla y algunos parámetros básicos de operación, como la velocidad de giro del motor (RPM's), la mezcla aire/combustible, la velocidad de desplazamiento del vehículo o el consumo de combustible. Estos dispositivos son conocidos como escáneres para OBD-II y vienen pre-configurados para seguir ciertos protocolos que ayudan a la detección de fallas en el vehículo a partir de la conexión con las señales en ese puerto.

Por otro lado, existen los decodificadores USB/CAN, los cuales permiten leer y escribir en las unidades de control electrónico (ECU) del vehículo. Su uso más común es leer la información que fluye a través del bus de datos del puerto OBD-II y, al igual que los escáneres OBD-II, estos decodificadores tienen su propia interfaz

para visualizar lo que transmite el bus o, en su defecto, almacenar sólo la información.

A través de la conexión del OBD-II actual es posible establecer una conexión con el bus de datos de comunicación interna, denominado protocolo CAN, el cual maneja de manera prácticamente ininterrumpida la información generada por los sensores y por los sistemas del vehículo durante su operación. Aprovechando esta facilidad, se elaboró un programa que puede ser utilizado para obtener información en tiempo real del estado de los sensores y de las señales que registran. La información obtenida puede utilizarse para identificar los sistemas de seguridad existentes y determinar su adecuado funcionamiento, así como para complementar esquemas de instrumentación y de adquisición de datos con sensores externos. Con ello se amplía la capacidad de medición para una caracterización más detallada y precisa de desempeño dinámico y operativo de un vehículo durante un proceso de pruebas.

El desarrollo de este programa se hizo con el propósito de contar con una interfaz gráfica y amigable para seleccionar señales de sensores específicos y visualizar simultáneamente varias señales de interés. Como resultado se genera un reporte en un formato general de hoja de cálculo, que facilita su posterior procesamiento, análisis e interpretación.

# 1. Antecedentes

---

## 1.1 Protocolos de comunicación

La gran cantidad de sensores y actuadores conectados a la red de datos en un vehículo ha acentuado la necesidad de mantener a los sistemas de control comunicados entre sí. Se han desarrollado diversos sistemas o protocolos que interactúan con los sistemas de control, como es el caso de la red de área de controladores o CAN (*Controller Area Network*), la red de interconexión local LIN (*Local Interconnect Network*), la red de transporte de sistemas orientados a media MOST (*Media Oriented Systems Transport*) y el protocolo de comunicaciones para buses de datos *FlexRay*, entre los más relevantes.

El sistema o protocolo CAN, bus serial desarrollado por la empresa Bosch, es actualmente el estándar de comunicación más utilizado en los vehículos. La red LIN es una red de bajo costo orientada a trabajar con dispositivos inteligentes, sensores y actuadores, en un subsistema que complementa a la red CAN. El sistema de comunicación MOST está orientado a la administración de sistemas de información y entretenimiento (estéreo, navegación, altavoces, pantalla de video, etc.), mientras que el sistema *FlexRay* es un protocolo de comunicaciones de mayores prestaciones que el CAN y el MOST, aunque también de mayor costo. Cabe mencionar que las especificaciones de este protocolo están siendo actualmente revisadas, principal razón por la cual aún no se ha implementado en gran escala en los vehículos. Ciertamente, el protocolo CAN es el más usado en la industria automotriz y debido a ello se tomó como base para el desarrollo del programa.

## 1.2 Breve historia del CAN

A principios de la década de 1980, ingenieros de Bosch evaluaron los sistemas de comunicación serial (bus) existentes con la intención de un posible uso en automóviles. Como resultado de su evaluación determinaron que ninguno de los protocolos disponibles en ese momento era adecuado para sus propósitos, lo que dio lugar a la intención de generar un bus que cumpliera con sus requisitos. Así, en 1983 Bosch inició el desarrollo de un nuevo sistema de bus serial, conjuntando la participación de diversos ingenieros y académicos. El nuevo protocolo tenía como requerimiento agregar nuevas funcionalidades que diversificaran y facilitaran la comunicación, además de perseguir, como objetivo secundario, la reducción de los arneses de cableado. Dicho protocolo comenzó llamándose "*Controller Area Network*" (Red de Área de Controladores), con el acrónimo CAN, nombre que mantiene en la actualidad, [1].

El protocolo CAN de red multi-maestro se introdujo como una red de la serie automotriz en febrero de 1986, presentado por Uwe Kiencke, Siegfried Dais y Martin

Litschel en un congreso de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE, por sus siglas en inglés), celebrado en Detroit. Éste se basó en un esquema de arbitraje no destructivo que otorga al mensaje con la mayor prioridad acceso inmediato al bus, sin un bus central maestro, además de tener implementados diversos mecanismos de detección de errores. El manejo de errores incluyó también la desconexión automática de los nodos de bus defectuosos para mantener, de esa manera, la comunicación entre los nodos restantes. Como en casi todos los sistemas de bus utilizados en ese entonces, los mensajes transmitidos no se identificaron por la dirección de nodo del transmisor o del receptor del mensaje, sino por su contenido. El identificador que representa el contenido del mensaje también tenía la función de especificar la prioridad del mensaje dentro del sistema, [1].

A mediados de 1987, dos meses antes de lo previsto, Intel entregó el chip 82526, primer chip controlador CAN, siendo la primera implementación de *hardware* del protocolo CAN y, poco después, Philips Semiconductors presentó el 82C200. Estos dos primeros antepasados de los controladores CAN fueron bastante diferentes en cuanto al filtrado de aceptación y el manejo de mensajes. Por un lado, el concepto FullCAN favorecido por Intel requería menos carga de CPU del microcontrolador conectado que la implementación BasicCAN elegida por Philips. Entre otras diferencias, el dispositivo FullCAN estaba limitado en cuanto a la cantidad de mensajes que se podían recibir, mientras que el controlador BasicCAN requería menos silicio. En los controladores CAN actuales, se implementa una mezcla de ambos conceptos de filtrado de aceptación y manejo de mensajes, por lo que los términos BasicCAN y FullCAN fueron obsoletos por la confusión de sus definiciones, [1].

El principio de la década de 1990 se consideró el momento adecuado para fundar un grupo de usuarios que promovieran el protocolo CAN y fomentaran su uso en muchas aplicaciones. En enero de 1992 hubo una reunión de usuarios y fabricantes para establecer una plataforma neutral para la mejora técnica de CAN, así como para la comercialización del sistema de bus en serie. Dos meses después, se fundó oficialmente el grupo internacional de usuarios y fabricantes '*CAN in Automation*' (CiA), iniciando inmediatamente la publicación del boletín CAN, [1].

La especificación CAN de Bosch (versión 2.0) se presentó para estandarización internacional a principios de los años noventa. No obstante, la norma ISO 11898 respectiva se publicó en noviembre de 1993, después de varias disputas políticas especialmente relacionadas con la 'Red de área de vehículos' (VAN) desarrollada por algunos de los principales fabricantes de automóviles franceses, [2]. La primera publicación técnica del CiA abordó el tema sobre la capa física, recomendando usar solo transceptores CAN que cumplan con la norma ISO 11898. Esto llevó al desuso de los transceptores EIA-485 específicos del fabricante, que se usaban con bastante frecuencia en redes CAN en ese tiempo y no siempre fueron compatibles. Por esa razón, se estableció como una de las primeras tareas de CiA especificar una capa de aplicación CAN, desarrollando la 'Capa de aplicación CAN' (CAL), también llamada 'Libro Verde', utilizando el material existente de Philips Medical Systems y STZP, junto con la ayuda de otros miembros de CiA. Mientras se daba este

desarrollo, otra tarea principal de CiA fue organizar el intercambio de información entre expertos de CAN y aquellos que querían tener más conocimientos sobre el mismo, materializando desde 1994 la Conferencia internacional CAN (ICC). En 1995, la norma ISO 11898 se amplió, incluyendo un apéndice que describe el formato de trama extendido que utiliza un identificador CAN de 29 bits, [1].

### **1.3 Aplicabilidad del CAN**

Los modelos actuales de vehículos incorporan el protocolo CAN para transmitir información de la operación y funcionamiento de cada uno de sus sistemas. Así mismo, determinan la activación o desactivación de dispositivos para mantener y responder ante eventos que comprometan la seguridad, vigilando el adecuado funcionamiento del motor o de otros sistemas prioritarios en la operación del vehículo. Cuando el sistema está energizado, éste genera información de cada sensor o equipo instalado en el vehículo prácticamente de manera ininterrumpida, siendo la computadora central la encargada de gestionar las acciones de operación de acuerdo a las directrices del desempeño del vehículo. Aprovechando el monitoreo y flujo de información de sensores, equipos y sistemas en el vehículo, el protocolo CAN constituye un medio útil para extraer información del comportamiento de esos dispositivos.

Con base en esos preceptos, aquí se presenta el desarrollo de un programa que utiliza la conexión al protocolo CAN, particularmente de vehículos pesados, pero sin limitarlo a éstos. Con ello se logra obtener información en tiempo real del estatus de los sensores y del comportamiento de las señales que se producen. Esto puede ser utilizado para determinar externamente la presencia y adecuado funcionamiento de sistemas de seguridad en el vehículo, así como para complementar esquemas de instrumentación y adquisición de datos, útiles en la evaluación o caracterización del comportamiento de vehículos que, una vez validada, apoye la definición de las características de desempeño dinámico y de operación del vehículo.

La metodología seguida para el desarrollo e implementación del programa incluyó la documentación del funcionamiento del protocolo CAN, fundamental para la adquisición y procesamiento de datos. Posteriormente, se consideraron los tipos de sensores de vehículos que cuentan con este protocolo de comunicación, así como las normas aplicables al protocolo. Esto facilitó elegir un medio físico versátil de conexión al puerto OBD-II que fuera soportado por la plataforma de LabVIEW, aplicable tanto para vehículos ligeros como pesados. Teniendo en cuenta la información recopilada, se desarrolló el programa, tema que será abordado más a fondo en otra sección de este trabajo, así como el diseño complementario de la estructura de la programación. Finalmente, se ejecutaron pruebas de validación del programa, tanto en vehículos ligeros como pesados, cuyos resultados complementan este escrito.



## 2. CAN y sus sensores

### 2.1 Funcionamiento del CAN

El protocolo de comunicación de red de área de controladores (CAN) es un sistema que, a través de un bus de datos, envía información de sensores y actuadores a la unidad electrónica de control (ECU, *Electronic Control Unit*) en el vehículo. Esta unidad de control administra los diferentes aspectos del funcionamiento y operación como, por ejemplo, el proceso de combustión del combustible en el motor. En ese proceso, puede controlar la cantidad de combustible que se inyecta en cada cilindro, el punto de ignición, el tiempo de apertura o cierre de las válvulas, la operación del turbo compresor y el control de otros periféricos.

La Figura 2.1 muestra los diferentes elementos y sistemas que conforman una típica Red de Área de Controladores (CAN) en un vehículo automotor.

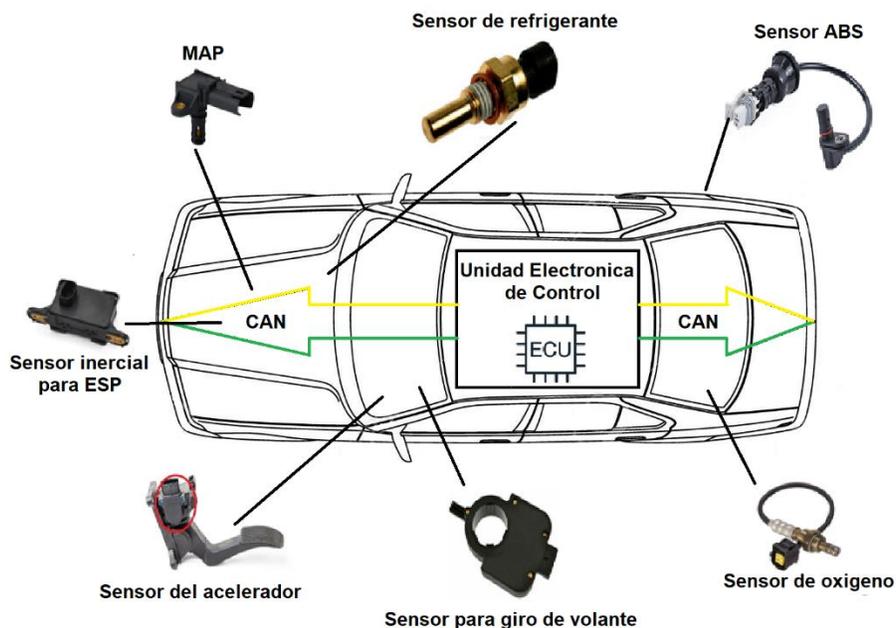


Figura 2.1 Red de área de controladores

Una característica importante a resaltar de la estructura del protocolo es la utilización del concepto de modelo productor/consumidor, lo que implica que su diseño está orientado a mejorar la forma en que se comparte la información de los diferentes sensores y actuadores. La información y datos que fluyen por el CAN se transmiten en múltiples ciclos (bucles), además de ejecutarse a distintas

velocidades. Esta estructuración permite separar los procesos que consumen y producen datos a diferentes velocidades de transferencia.

## **2.2 Características y elementos principales del CAN**

El bus CAN opera sobre dos capas del modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI, *Open Systems Interconnection*), las cuales corresponden a la capa física y a la capa de datos. Una versión de bus CAN que permite la transmisión tolerante a fallas soporta velocidades de transferencia de datos de hasta 125 kbits por segundo (kbps), en líneas de transmisión con distancia de hasta 40 m, ofreciendo mayor capacidad de transferencia de datos y rango extendido de transmisión comparado con el protocolo LIN. Otras versiones de bus CAN soportan tasas de transferencia de hasta 1 Mbps, lo cual representa un incremento por un factor de 50 sobre la máxima tasa de transferencia de datos con protocolo LIN, [2].

El bus CAN es usado principalmente en sistemas embebidos, aunque es una red con tecnología que provee rápida comunicación con microcontroladores y permite una comunicación abierta para dispositivos inteligentes. Cubre, incluso, requerimientos de procesamiento en tiempo real, eliminando la necesidad de usar otra tecnología más compleja y costosa. Básicamente, el bus CAN es un sistema de transferencia de datos en red de alta velocidad donde la información se transmite por dos cables, siendo esto muy superior a la tecnología convencional serial RS232. Algunos usuarios, como los del campo de la medicina, optan por el bus CAN gracias a sus características de seguridad, [2].

La implementación de bus CAN es más efectiva en costo por su funcionalidad y confiabilidad. Las principales características de este protocolo son:

- Es una red serial de comunicación para soluciones embebidas utilizando sólo un par de cables trenzados; es decir, dos cables para la transmisión de datos, CAN\_H (alto) y CAN\_L (bajo)
- Opera en tasas de hasta 1 Mbps
- Soporta máximo 8 bytes por mensaje de trama
- No soporta ID de nodos, solo ID de mensajes
- Para determinadas aplicaciones, el bus CAN puede soportar múltiples ID de mensajes, a través de la priorización de mensajes
- El ID de menor valor es el ID de mayor prioridad
- Soporta dos tamaños de ID, de 11 bits (estándar) y de 29 bits (extendido)
- No experimenta colisión de mensajes, lo que sí ocurre en otras tecnologías de comunicación serial

La red multiplexada CAN actualmente es la más utilizada en los vehículos. La transmisión de datos se realiza por impulsos eléctricos en forma de señal cuadrada a través del bus de datos, formado por dos cables trenzados. Las unidades de control cuentan con un transceptor que convierte los impulsos eléctricos en un

mensaje de código binario, comprensible tanto por el controlador, como por 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 Panel de Instrumentos. En las redes CAN, todas las centrales envían y reciben mensajes entre ellas, pero estos mensajes tienen un solo destinatario. Cuando una central recibe un mensaje, tiene que saber si es dirigido a ella o si lo ignora. Además, debe identificar la prioridad del mensaje y, en consecuencia, responder a la acción del sensor que lo emitió.

Los elementos que componen esencialmente un sistema de comunicación CAN son los siguientes:

- 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 hasta 1 Mbit/s y CAN de baja velocidad hasta los 125 kbit/s). Si uno de éstos falla, el otro sigue en funcionamiento, cuya señal se referencia a tierra para mantener la comunicación y, por tanto, el CAN sigue operando con solamente uno de los cables.
- Resistencias de terminación: Son resistencias de 120 ohm ( $\Omega$ ) conectadas a los extremos de los cables del bus, que permiten adecuar el funcionamiento del sistema para diferentes longitudes de cables como número de unidades de control, evitando reflejos de señales que perturben la transmisión de mensajes.
- Controlador: Es el elemento encargado de la comunicación entre el microprocesador ( $\mu$ P) de la unidad de control y el transmisor-receptor, acondicionando la información que entra y sale entre ambos componentes. Éste determina la velocidad de transmisión de los mensajes, la cual dependerá de la relevancia de los subsistemas. Por ejemplo, la línea de bus CAN del motor, de los frenos o de los cambios automáticos en la caja de velocidades es de 500 kbit/s, mientras que para los sistemas de confort es de 62.5 kbit/s.
- Transmisor–Receptor: Es el elemento que tiene la misión de enviar y de recibir los datos, además de acondicionar y adecuar los niveles de tensión para que la información pueda ser utilizada por los controladores. Funcionalmente, está situado entre los cables que forman la línea bus CAN y el controlador [2].

La Figura 2.2 muestra una central conectada al bus CAN. En ésta se muestran los cuatro elementos principales, que corresponden a los cables (CAN\_H, CAN\_L), la resistencia de terminación ( $120\Omega$ ), el controlador y el transmisor-receptor, conectados a la red de comunicación que se enlaza con los microprocesadores de cada unidad electrónica de control (ECU), [6].

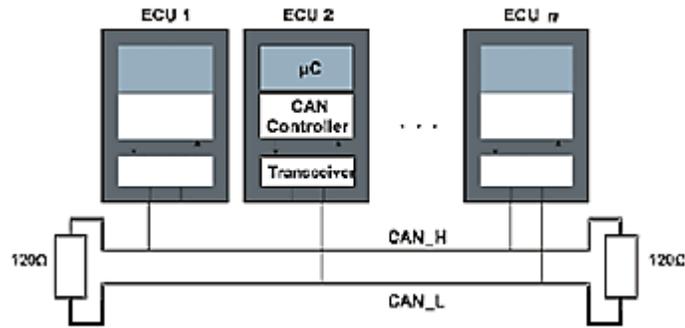


Figura 2.2 Unidad de control conectada a una red CAN

La función de cada componente físico en una red CAN se ilustra a través de los pasos del envío de datos a través de una línea, [2]:

1. Los sensores y captadores envían la información a su central correspondiente (ECU).
2. El microprocesador de la central (ECU) trata esta información y la envía al controlador (CAN-Controller), el cual transmite la información al transceptor.
3. El transceptor acondiciona la información digital recibida en señales eléctricas (CAN\_H y CAN\_L) y la envía (vuelca) en su modalidad de transmisor al bus de datos.
4. El resto de centrales reciben el mensaje a través del transceptor en su modalidad de receptor. Para ello, su controlador CAN correspondiente acondiciona las señales eléctricas en formato digital y las envía al microcontrolador de las unidades centrales.
5. Las centrales interesadas en el mensaje lo reciben y deciden si lo aceptan y lo procesan, o lo rechazan e ignoran. Al aceptarlo y procesarlo, también envían un mensaje de confirmación de recepción al bus de datos.

## 2.3 Ruta de información CAN

El sistema bus CAN envía la información transmitida en forma de mensajes estructurados, siendo una parte un identificador de la clase de datos que contiene. Todas las unidades de control reciben el mensaje, lo filtran y sólo es empleado por las que lo necesitan. El proceso de transmisión de datos se desarrolla siguiendo un ciclo de varias fases, que son, [2]:

- **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: RPM del motor, velocidad del vehículo, temperatura del motor, presión del aceite, estado de las puertas, etc.). Su microprocesador transfiere la información al controlador, donde es gestionada y acondicionada para posteriormente ser enviada al transmisor-receptor, donde se transforma en señales eléctricas que viajarán por el bus CAN.
- **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, el mensaje debe tener una prioridad mayor para poder ser transmitido y, cuando esto ocurre, el resto de unidades de mando se convierten en receptoras.
- **Recepción del mensaje:** Cuando las unidades de mando reciben el mensaje, verifican el identificador para determinar si el mensaje será utilizado por ellas. Las unidades de mando que requieren los datos del mensaje lo aceptan y procesan; de lo contrario, lo ignoran. El sistema bus CAN dispone de mecanismos para detectar errores en la trasmisión de mensajes, a fin de minimizar las probabilidades de error en la emisión-recepción de éstos. Esta característica de bus CAN le confiere una alta confiabilidad y seguridad.
- **Mensaje:** El mensaje es una sucesión de dígitos binarios (bits) y tiene una serie de campos de diferente longitud que contiene la información necesaria para llevar a cabo las diferentes acciones de las unidades de mando. El mensaje contiene información que permite identificar a la unidad de mando, indica el principio y el final del mensaje, contiene la magnitud de la variable física, instrucciones de control, 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 arbitraje:** Se utiliza para priorizar los mensajes en el bus. Formado por 12 o 32 bits
  - Trama estándar: 11 bits de identificación y un bit RTR.
  - Trama extendida: 29 bits de identificación, 1 bit para definir el mensaje como trama extendida, un bit SRR no usado, un bit RTR.
- **Bit RTR** o solicitud de transmisión remota: 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 para su chequeo o uso inmediato.
- **Campo de control:** Este campo informa sobre las características del campo de datos.

- **Campo de datos:** Este campo del mensaje contiene los datos que la unidad de mando correspondiente introduce en la línea bus CAN.
- **Campo de seguridad (CRC):** Este campo es utilizado para la detección de errores.
- **Campo de confirmación (ACK):** El campo ACK está compuesto por dos bits 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 otra 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.
- **Error CRC.** Si al menos un nodo no recibe correctamente el mensaje, éste genera la trama de error y el mensaje es reenviado, [3].
- **Error de ACK.** El nodo transmisor comprueba si la bandera (*flag*) ACK, enviado como recesivo, contiene un bit dominante. Este bit dominante reconocerá que al menos un nodo ha recibido correctamente el mensaje.
- **Error de forma.** Si cualquier nodo detecta un bit dominante en uno de los cuatro segmentos del mensaje, sea éste final de trama, espacio entre tramas, delimitador ACK o delimitador CRC; el protocolo CAN lo define como una violación de la forma, [3].
- **Error de bit.** Éste se origina cuando el transmisor, al comparar el bit enviado con el bit recibido en el monitoreo del bus actual, no coinciden, [3].
- **Error de stuff.** Los nodos receptores se sincronizan con la transición. Si hay más de 5 bits de la misma polaridad, CAN pone un bit de polaridad opuesta (*stuffing bit*). Si se detectan 6 bits con la misma polaridad se produce un error de stuff, [3].
- **Campo de final de mensaje (EOF).** Campo que indica el final del mensaje transmitido, [3].

La Figura 2.3 muestra un ejemplo del proceso de transmisión de datos, representando cada parte de la trama de datos y su capacidad de bits.

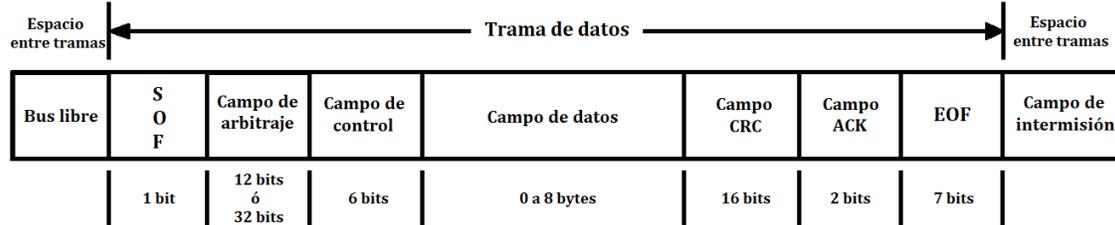


Figura 2.3 Ejemplo de trama de datos CAN

## 2.4 Diagnóstico a bordo

Básicamente, el diagnóstico a bordo o sistema OBD basado en un microprocesador, se diseñó para autodiagnosticar y reportar cuando el funcionamiento de los sistemas o componentes del control de emisiones del vehículo estuviera fuera de especificación; es decir, cuando las emisiones del escape excedieran los niveles legales o mostraran tendencia de que se excederían. Cuando se produce un problema, el sistema OBD enciende una luz que se conoce como luz indicadora de fallas (MIL, *Malfunction Indicator Lamp*) o indicador de mal funcionamiento (MI) en el tablero de instrumentos, como se muestra en la Figura 2.4. Los símbolos correspondientes en ocasiones van acompañados de un texto como "Check engine", "Checar" o "Dar servicio al motor pronto", [4].



Figura 2.4 Indicador de chequear el motor

Cuando la falla ocurre, el sistema almacena el código de problema de diagnóstico, que puede ser utilizado para localizar e identificar la falla. El sistema también almacenará información importante sobre las condiciones de operación del vehículo en el momento en que ocurrió la falla. Un técnico de servicio podrá conectar una herramienta de diagnóstico por escaneo o un lector de códigos que se comunique con el microprocesador para recuperar esta información. Esto facilita la emisión de un diagnóstico y corregir la falla, que conduce a la reparación o reemplazo correspondiente del componente o sistema afectado. Una vez corregida la falla, el técnico restablece el sistema OBD y restaura con ello los sistemas de control a su condición inicial, [4].

Conforme los vehículos y sus sistemas se tornan más complejos, la funcionalidad del OBD se ha ido ampliando para cubrir más sistemas y componentes del vehículo, adicionales al control de emisiones. Por ejemplo, elementos del sistema de iluminación, de entretenimiento o de confort de los pasajeros como aire acondicionado o temperatura del habitáculo, pueden ser inspeccionados a través del OBD para determinar su estado de operación o presencia de fallas, [4].

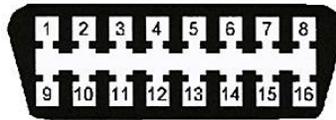
## **2.5 Conectores de diagnóstico**

Dependiendo de su antigüedad, en los vehículos ligeros se puede encontrar dos tipos de conexiones de diagnóstico: OBD-I y OBD-II. El conector OBD-I fue creado en 1983 e implementado en algunos vehículos americanos entre 1987 y 1988. La primera regulación de OBD-I que obligó a los productores de vehículos a instalar un sistema de monitorización de algunos de los componentes que controlaban los sistemas de emisiones en automóviles, se puso en operación a partir de 1991. Desafortunadamente, los sistemas de OBD-I no eran tan efectivos debido a que solamente monitoreaban algunos de los componentes relacionados con las emisiones y no eran calibrados para un nivel específico de emisiones, [2].

El sistema OBD-II surgió para medir las emisiones de un vehículo con una mayor precisión al mostrar el error específico, dependiendo del sistema. Adicionalmente, esta tecnología estableció códigos de errores genéricos de todos los sistemas OBD-II, independientemente de las marcas y modelos de automóviles. A partir de su implementación 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), [2].

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 por fabricante ha habido algunos cambios 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). Ante esas diferencias, es posible determinar qué protocolo utiliza un automóvil al examinar físicamente el conector, [2].

La Figura 2.5 muestra las terminales del conector OBD-II. Los pines 6 y 14 corresponden a las terminales de alto y bajo del bus de datos CAN.



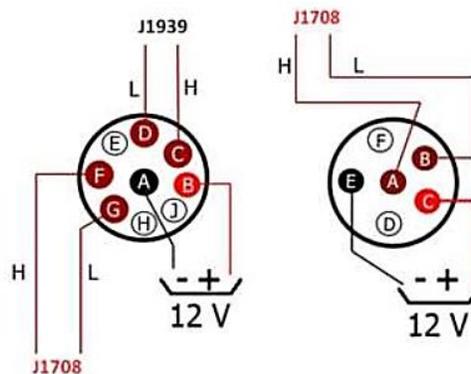
1 – Sin uso	9 – Sin uso
2 - J1850 Bus positivo	10 - J1850 Bus negativo
3 – Sin uso	11 – Sin uso
4 - Tierra del Vehículo	12 – Sin uso
5 – Tierra de la Señal	13 – Tierra de la señal
6 - CAN High	14 - CAN Low
7 - ISO 9141-2 - Línea K	15 - ISO 9141-2 - Línea L
8 – Sin uso	16 - Batería - positivo

**Figura 2.5 Terminales de conector OBD-II [2]**

La norma SAE J1939 establece la ubicación del conector de diagnóstico, el cual debe estar en el habitáculo de ocupantes, debajo del panel de instrumentos y 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, [2].

A diferencia de los vehículos de gasolina, el sistema OBD-II no es un estándar de diagnóstico en los vehículos de diésel, que a menudo dependen de la norma SAE J1939 y SAE J1708. 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 el bus de un vehículo. Fue desarrollado originalmente por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) en los EUA para aplicaciones en camiones pesados, el cual se utiliza en la actualidad en los vehículos de servicio pesado y en maquinaria, [2].

La Figura 2.6 muestra los conectores asociados a las normas SAE J1939 y SAE J1708.



**Figura 2.6 Conector de 9 y 6 pines [2]**

## 2.6 Tipos de sensores en vehículos

El término sensor se refiere a un elemento de medición que detecta la magnitud de un parámetro físico y lo convierte en una señal eléctrica que entonces es procesada por el sistema. Al elemento activo de un sensor se le conoce comúnmente como transductor. El diseño de sensores y transductores siempre involucra alguna ley o principio físico o químico que relaciona la cantidad de interés con algún evento medible. Los sistemas de monitorización y control requieren sensores para medir cantidades físicas, tales como posición lineal, posición angular, desplazamiento, deformación, aceleración, presión, caudal, fuerza, velocidad lineal y velocidad angular, temperatura, intensidad lumínica, distancia y vibración, [5]. Su conversión a una señal eléctrica facilita su implementación en sistemas de comunicación y registro de información de manera electrónica-digital.

### **Sensores de inducción.**

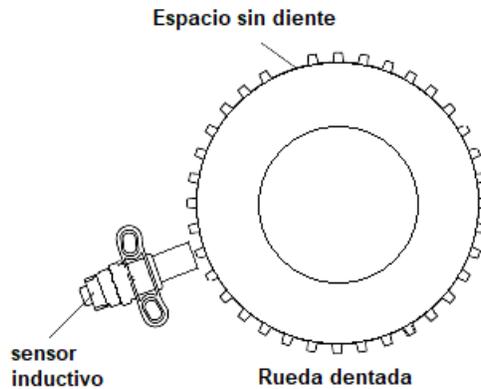
Los sensores de tipo inductivo se usan principalmente para la medición y posicionamiento de componentes en rotación. Trabajan bajo el principio de inducción eléctrica; es decir, un flujo magnético cambiante que induce una fuerza electromotriz o voltaje en una bobina. El voltaje de salida de la mayoría de los sensores de tipo inductivo es aproximado a una onda sinusoidal. La amplitud de esta señal depende principalmente del diseño del sensor e involucra aspectos como el material del elemento rotatorio, el número de vueltas de la bobina, la intensidad del flujo magnético, el espacio entre el sensor y el componente rotatorio, así como de la frecuencia o velocidad de cambio del flujo magnético o electromagnético. En general, el voltaje de salida del sensor aumenta con la velocidad de rotación, aunque en la mayoría de las aplicaciones lo que se usa es la frecuencia de la señal, [4].

Los sensores de tipo inductivo para cigüeñal y árbol de levas funcionan de la misma manera. Un elemento rotatorio con un solo diente o una rueda dentada induce un voltaje al embobinado del sensor, usualmente fijo (ver Figura 2.7). El sensor del árbol de levas da información sobre su posición. El sensor del cigüeñal (*CAS*, *Crankshaft Sensor*) proporciona información sobre la velocidad de motor y posición de los pistones, [4].

La forma de onda y el voltaje de salida del sensor del cigüeñal difiere entre fabricantes, aunque también aumenta con la velocidad del motor. No obstante, la forma de onda es una señal de voltaje alternante, [4]. Un pulso o la ausencia de éste en la forma de onda de la señal de salida se debe a la disposición dentada del elemento rotatorio y se utiliza como referencia para que la ECU determine la posición del motor y algunos sistemas usan dos referencias por revolución, [4].

El sensor del árbol de levas es también conocido como el sensor identificador de cilindro (*CID*, *Cylinder Identification*) o sensor de fase y se usa como referencia para la inyección secuencial del combustible, [4]. El voltaje producido por el sensor de árbol de levas depende de factores como la velocidad del motor, la proximidad del rotor metálico al sensor inductivo o captador y la intensidad del campo magnético

en el sensor. La unidad de control del motor necesita identificar la señal cuando arranca el motor para usarla de referencia. Si está ausente, puede alterar el punto en el que se inyecta el combustible en el cilindro, [4].



**Figura 2.7 Sensor de cigüeñal y árbol de levas**

Los sensores para el sistema antibloqueo de ruedas (ABS, Anti-lock Braking System) son utilizados para medir la velocidad de rotación de las ruedas y se han diseñado más pequeños y eficientes con el paso del tiempo. Los más actuales miden la velocidad y la dirección de rotación de las ruedas, siendo integrados a la carcasa del balero de la rueda. La activación del sistema ABS depende de la información que llega de los sensores. Si la ECU del ABS no recibe señal de una de las ruedas, asume que la rueda se ha bloqueado (tal vez por una situación de frenado de pánico) y libera momentáneamente la presión del freno en dicha rueda hasta que la señal vuelve a estar presente. Es de suma importancia que los sensores del ABS envíen su señal al ECU; si la señal de uno de estos sensores es de una frecuencia menor, la ECU puede reaccionar de acuerdo a ello, [4].

El funcionamiento de este tipo de sensores es similar a la del sensor del cigüeñal. Una pequeña señal inductiva es afectada por el movimiento de una rueda dentada que se mueve en proximidad. El movimiento de la rueda dentada produce una onda senoidal del sensor cuya salida puede ser monitoreada y medida por un osciloscopio, como se muestra en la Figura 2.8. Algunos de estos sensores pueden ser de tipo efecto Hall y el tipo de señal que producirá será una forma de onda cuadrada, [4].

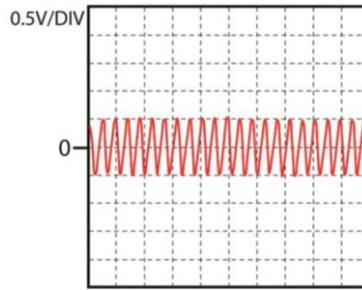


Figura 2.8 Señal inductiva vista en osciloscopio

### Resistencias variables.

Los dos mejores ejemplos de aplicaciones vehiculares para sensores de resistencia variable son los sensores de posición del ahogador y los sensores de flujo de aire de tipo aleta. Los sensores de resistencia variable miden normalmente cambios mayores en la posición y esto se debe a la poca sensibilidad inherente a la construcción de la pista resistiva.

La mayoría de sensores de posición del ahogador se localiza en el eje de la mariposa e indican a la ECU la apertura precisa del ahogador. El sensor de la posición del ahogador es un potenciómetro lineal de tres terminales, donde generalmente a una de ellas se le aplican 5 V, otra corresponde a la conexión a tierra y la tercera es la salida variable, siendo ésta usualmente el pin central. El voltaje del contacto asociado a la resistencia variable será proporcional a la posición del ahogador, información que se usa para implementar el enriquecimiento de la aceleración o corte de combustible sobrante, [4].

En el caso del medidor de flujo de aire de tipo paleta es un potenciómetro simple que produce una salida de voltaje proporcional a la posición de la paleta y a la cantidad de aire que fluye a través de ésta. La forma de onda de la señal de salida corresponde aproximadamente a 1 V cuando el motor está en ralentí, voltaje que se elevará conforme se acelere el motor y producirá un valor máximo inicial debido a la inercia de la paleta de aire. Luego caerá por un momento para posteriormente elevarse hasta un valor comprendido entre 4.0 a 4.5 V, como se observa en la imagen de la Figura 2.9, [4].



Figura 2.9 Señal de medidor de flujo de aire

### Termistores

El principio de funcionamiento de un termistor se basa en una resistencia cuyo valor varía en función de la temperatura. El termistor forma parte de un circuito el cual produce una señal eléctrica en función de su temperatura y, por tanto, del entorno donde éste se encuentra. La mayoría de los termistores son del tipo de coeficiente negativo de temperatura (NTC, Negative Temperature Coefficient), esto quiere decir que reducen su resistencia a medida que aumenta su temperatura. Por ejemplo, un termistor que se encuentre a  $0^{\circ}\text{C}$  puede tener una resistencia de varios miles de ohms ( $\text{k}\Omega$ ), mientras que  $100^{\circ}\text{C}$  su valor de resistencia puede caer a pocos cientos de ohms ( $\Omega$ ). La mayoría de los termistores tienen un rango limitado de medición, usualmente comprendido entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $100^{\circ}\text{C}$ , con una precisión de hasta  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ , dependiendo del modelo, [4]. La Figura 2.10 muestra la curva típica de un termistor con coeficiente negativo de temperatura.

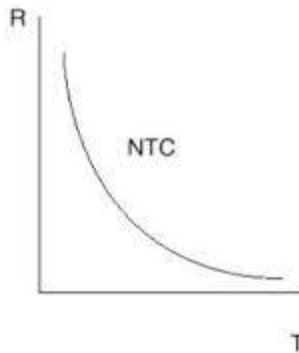


Figura 2.10 Curva de termistor NTC

El sensor de temperatura del refrigerante (CTS, Coolant Temperature Sensor) es un tipo de termistor NTC. Este dispositivo cuenta generalmente con dos alambres con un voltaje de 5 V entre sus terminales. Al variar la temperatura del termistor su resistencia cambia, por lo que el voltaje desarrollado por el sensor también cambia.

La Figura 2.11 muestra la apariencia física de un sensor de temperatura del refrigerante, así como su señal de salida, [4].

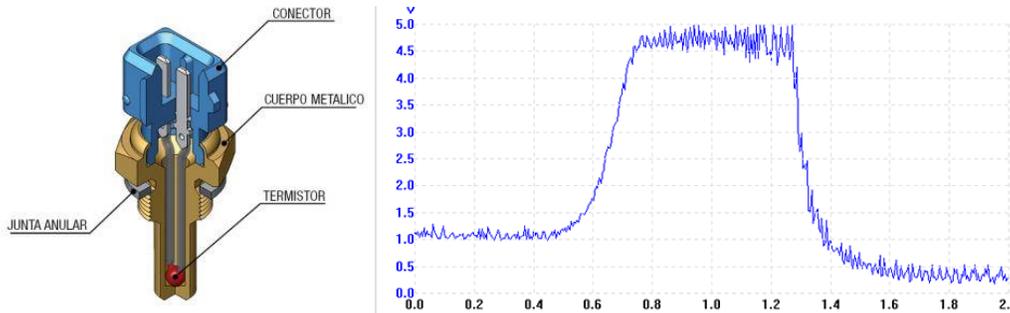
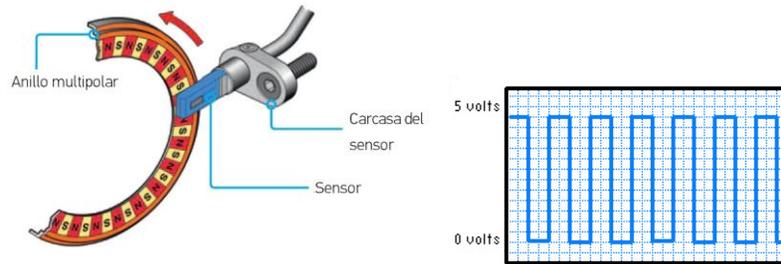


Figura 2.11 Sensor de temperatura del refrigerante y señal generada

### Sensores de Efecto Hall

Un sensor de Efecto Hall detecta y mide campos magnéticos o corrientes eléctricas y crea un voltaje de salida proporcional a la fuerza del campo magnético y de la corriente medida; así, con el valor de la intensidad de corriente eléctrica es posible calcular la fuerza del campo magnético. Este tipo de sensores se emplean en detectores de metales, en la medición de campos magnéticos y medición de corriente. Adicionalmente, se emplean en aparatos de medida de espesor de materiales, en aparatos de emisión de señales sin contacto, así como para conocer la posición o presencia de componentes magnéticos, [4].

En la industria automotriz, el sensor de efecto Hall se utiliza para la detección de componentes magnéticos sin hacer contacto, adecuado para medir las revoluciones de piezas en movimiento sin ser afectado por la suciedad (no magnética) ni por el agua, [4]. Algunos sensores de efecto Hall están sustituyendo a los sensores de tipo inductivo utilizados para determinar la posición del cigüeñal, o para medir la rotación de las ruedas, como en aplicaciones de ABS. La salida de este sensor es una onda casi cuadrada con amplitud constante, lo cual le confiere dos ventajas sobresalientes en vehículos al ser capaz de medir velocidades muy bajas y con el voltaje de salida de los sensores independiente de la velocidad, [4]. El sensor generalmente cuenta con 3 terminales: una de la fuente de voltaje, una para conexión a tierra y una salida de señal. La Figura 2.12 muestra un sensor de Efecto Hall para el sistema ABS, además de una representación gráfica del tipo de señal que genera, [4].

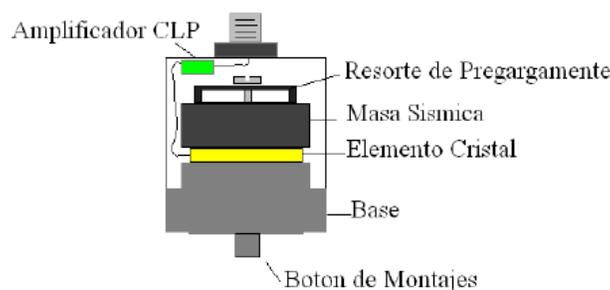


**Figura 2.12 Sensor de efecto Hall y señal digital producida**

### Sensores de aceleración

Se denomina acelerómetro al instrumento destinado a medir aceleraciones asociadas con el movimiento de una masa. La medición de la aceleración se puede realizar por medio de diferentes técnicas y con instrumentos de diferente principio de operación. Por ejemplo, el acelerómetro con principio de operación piezoeléctrico es el más común y versátil disponible en el mercado, que genera un voltaje o una carga proporcional a la fuerza aplicada sobre un cristal o material que exhibe estas características.

Un acelerómetro de este tipo contiene un elemento piezoeléctrico, como el circonato de plomo o cristal de cuarzo, que se une a una masa en uno de sus lados y, en el lado opuesto, se fija a una base, formando un ensamble contenido en un encapsulado metálico. Cuando el conjunto es sometido a vibración, el cristal o material piezoeléctrico se ve sometido a una fuerza variable proporcional a la aceleración de la masa y, debido al efecto piezoeléctrico, se desarrolla un potencial variable proporcional a la aceleración, [6]. La Figura 2.13 muestra una descripción típica de un acelerómetro de este tipo.



**Figura 2.13 Acelerómetro piezoeléctrico [6]**

Otro menos común es el que opera bajo el efecto Hall, el cual utiliza una masa sísmica donde se coloca un pequeño imán permanente y un sensor de efecto Hall que detecta cambios en el campo magnético, [6]. Los cambios magnéticos son producto del movimiento de la masa y, por tanto, permite determinar variables cinemáticas como posición, velocidad o aceleración.

Otro acelerómetro usual es el tipo capacitivo, que se basa en el principio de variación de la capacitancia entre dos conductores que separan un dieléctrico en respuesta a la variación de aceleración. Una pequeña masa se une o forma parte de uno de los conductores, por lo que producto del movimiento y la aceleración resultante, hay una variación de la distancia entre esos elementos y, por tanto, de la capacitancia, [6].

### **Sensores involucrados en el sistema de control de estabilidad**

El comúnmente llamado ESC (control electrónico de estabilidad) o ESP (programa electrónico de estabilidad) es un sistema electrónico que apoya al conductor para mantener el control de su vehículo en situaciones en que el éste tienda a perder estabilidad direccional. El ESC utiliza y administra la información del sistema de frenos ABS, del control de tracción y del bloqueo electrónico del diferencial, [7], que actúa bajo condiciones extraordinarias de velocidad y adherencia. Su funcionamiento requiere de la participación de diversos sensores, como:

- Sensor del volante y dirección
- Sensor de velocidad en cada rueda
- Sensor de movimiento angular respecto al eje vertical del vehículo
- Sensor de aceleración lateral

De manera combinada, este grupo de sensores detecta rápidamente cualquier indicio de subviraje y sobreviraje del vehículo y envía la señal correspondiente para activar el freno de alguna de las ruedas, con lo cual compensa la inestabilidad del vehículo y facilita así la recuperación del control direccional, [7]. La Figura 2.14 muestra los diferentes sistemas, elementos y sensores involucrados en el control electrónico de estabilidad.



**Figura 2.14 Elementos del sistema ESP [7]**

### **Sensores de oxígeno**

Un sensor de oxígeno (o sonda lambda) se ubica en el sistema de escape para analizar la cantidad de oxígeno presente en los gases de escape expulsados por el

motor. Cuando la mezcla es rica en combustible se incrementa la tensión eléctrica en el sensor, por lo que la unidad de mando disminuye el pulso de inyección de combustible para empobrecer la mezcla (reduce el combustible). Por el contrario, si el sensor informa a la unidad de mando con un bajo voltaje, la unidad de mando incrementa el pulso de inyección de combustible. Estas transiciones entre rico y pobre y viceversa, lleva por nombre la letra griega Lambda ( $\lambda$ ), [8].

Los sensores lambda pueden incorporar un sistema calentador para ayudar al sensor a alcanzar su temperatura óptima de funcionamiento. Los sensores de circonio, cuando funcionan correctamente, se activan aproximadamente una vez por segundo (1 Hz), y solo se inicia la conmutación cuando se encuentran a su temperatura normal de funcionamiento, [8]. La Figura 2.15 muestra un ejemplo de un sensor de oxígeno, así como la señal típica de su forma de onda.

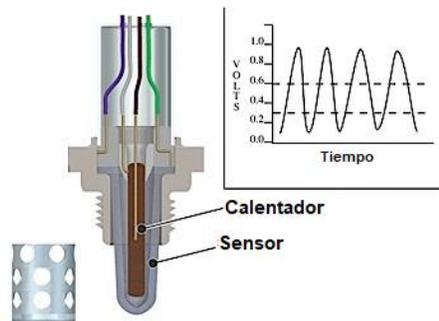


Figura 2.15 Sensor de oxígeno

### Sensores de presión

Con base en distintos principios de funcionamiento, Un sensor de presión determina la presión real aplicada y la asocia a una señal eléctrica de salida, gracias a sus circuitos electrónicos. Los sensores de presión con tecnología de galgas extensométricas tienen un elemento de detección al que se adhieren galgas de película estrecha mediante pulverización. Este elemento de medición puede ser una membrana o, en el caso de los cuerpos de medición con galgas de lámina metálica, pueden utilizar un elemento de tipo tubular. Las principales ventajas del diseño tipo tubular monolítico son un aumento de la rigidez y la capacidad de medir presiones muy elevadas (hasta 15000 bar). La conexión eléctrica normalmente se establece a través de un puente de Wheatstone, que proporciona una buena amplificación de la señal y resultados de medición precisos y constantes, [9].

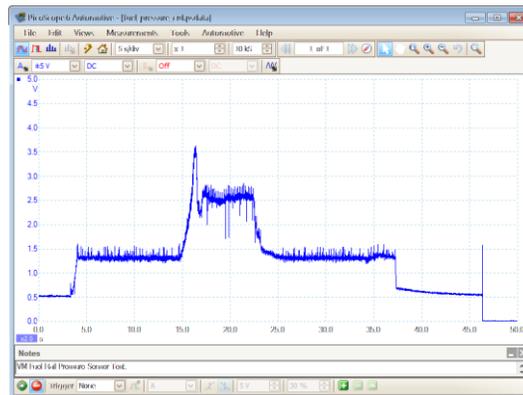
Los sensores de presión capacitivos utilizan una cavidad de presión y una membrana para formar un condensador variable. La membrana se deforma cuando se aplica presión y la capacitancia se reduce de manera proporcional. Este cambio se puede medir eléctricamente y correlacionarse con la presión aplicada, aunque este tipo de sensores están limitados a presiones bajas, de alrededor de 40 bar, [9].

Los sensores de presión piezorresistivos consisten en una membrana (principalmente de silicio) con galgas extensométricas integradas que detectan la deformación derivada de la presión aplicada. Debido al material utilizado, pueden utilizarse hasta presiones en torno a 1000 bar, [9].

A diferencia de las tecnologías antes señaladas, cuyo principio de funcionamiento se basa en la deflexión de un cuerpo de medición, los sensores de presión resonantes utilizan los cambios en la frecuencia de resonancia en un mecanismo de detección para medir el esfuerzo provocado por la presión aplicada. Dependiendo del diseño de estos sensores, el elemento resonante puede estar expuesto al medio y, en tal caso, la frecuencia de resonancia depende de la densidad del medio. En algunos casos, estos sensores son sensibles a los impactos y las vibraciones, [9].

Otros sensores de presión que tampoco emplean un cuerpo de medición son los sensores térmicos o de ionización. Éstos miden la presión aplicada a partir de cambios en la conductividad térmica, como consecuencia de cambios en la densidad de un caudal de partículas cargadas, [9].

Los sensores de presión están presentes en varios elementos del vehículo, como para medir la presión del combustible, la presión absoluta del múltiple o la presión misma de los neumáticos. En la Figura 2.16 se puede apreciar la señal de un sensor de presión de combustible obtenida del puerto OBD-II de un vehículo.



**Figura 2.16 Señal de sensor de presión de combustible**

## **Sensores de lluvia**

El sensor de lluvia funciona con base en un sistema de refracción y reflexión de la luz. Se instala en el interior del parabrisas del coche, casi siempre en la base del espejo retrovisor que se encuentra en el centro de la parte alta del parabrisas.

El sensor cuenta con 2 elementos, un emisor y un receptor. El primero emite un rayo de luz (visible o invisible al ojo humano) con determinada intensidad, mientras que el otro mide la luminosidad de la luz que se refleja. Para ello, la luz generada por el emisor (usualmente un LED o Diodo Emisor de Luz) incide sobre el cristal en un

ángulo tal que la luz reflejada llegue al receptor que recibe la cantidad de luminosidad cuantificada por determinados circuitos de ese sistema, [10].

En condiciones normales, el receptor debería recibir la totalidad de la luminosidad, y cuando recibe menos luz lo interpreta como la existencia de algún agente externo en la superficie del parabrisas, tales como agua o nieve. Cuanta más agua o nieve haya en la superficie externa del parabrisas, menor será la luz que recibirá el receptor, manteniéndose constante la cantidad de luz enviada por el emisor. A partir de la cantidad de luz recibida se activa o no el mecanismo de las plumillas de los limpiaparabrisas a una determinada velocidad, o bien, permanecen apagados, [10]. La imagen de la Figura 2.17 muestra los elementos para este tipo de sensor.

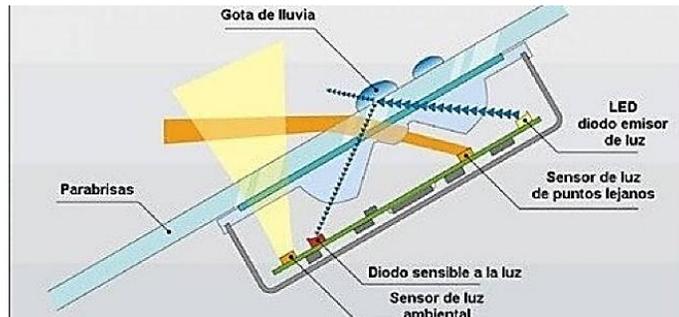


Figura 2.17 Sensor de lluvia [10]



## 3. Hardware y Software

---

La monitorización de sensores y actuadores es relevante para la detección de fallos y para la verificación del funcionamiento de los diferentes sistemas del vehículo. Para lograr analizar dicho funcionamiento en tiempo real es necesario contar con un decodificador de señales CAN. El decodificador se conecta al bus de datos a través del puerto OBD-II para tener acceso a la información proporcionada por todos los sensores instalados. Para visualizar o almacenar esa información es necesaria una interfaz que permita transmitirla a través de una comunicación serial alámbrica o inalámbrica, dependiendo de la aplicación.

### 3.1 Tipos de escáneres USB/CAN

Actualmente, existe en el mercado una gran variedad de escáneres y decodificadores de señales CAN. Por medio de estos dispositivos, la adquisición y procesamiento de señales provenientes del bus del vehículo se logra simplificar, además de poder vincularse a dispositivos portátiles y de comunicación serial. Aquí se describen cuatro de ese tipo de dispositivos y sus características relevantes para utilizarse en la adquisición de datos transmitidos bajo el protocolo CAN.

#### PCAN-USB

El adaptador PCAN-USB permite una conexión simple a redes CAN, [11]. Su carcasa de plástico compacta lo hace adecuado para aplicaciones móviles y la versión opto-desacoplada garantiza el aislamiento galvánico de hasta 500 V entre la PC y la línea del bus CAN, aislamiento necesario para evitar interferencias en la comunicación. La Figura 3.1 muestra una versión de ese adaptador.



Figura 3.1 PCAN-USB

Las principales características que definen este adaptador son:

- Preparado para conexión con puerto USB (modo Full-Speed, compatible con USB 1.1, USB 2.0 y USB 3.0)
- Conexión CAN de alta velocidad, de acuerdo a ISO 11898-2

- Velocidad para ajustarse a la transmisión desde 5 kbps hasta 1 Mbps
- Resolución de la marca de tiempo de aproximadamente 42  $\mu$ s
- Cumple con especificaciones CAN 2.0A (ID de 11 bits, estándar) y 2.0B (ID de 29 bits, extendido)
- Conexión de bus CAN por D-Sub, 9 pines (de acuerdo con CiA® 303-1)
- Controlador CAN NXP SJA1000 con frecuencia de reloj de 16 MHz
- Transceptor CAN NXP PCA82C251
- El suministro de 5V a la conexión CAN se logra a través de un puente del convertidor de bus externo al puerto USB.
- Aislamiento galvánico en la conexión CAN hasta 500 V (sólo para IPEH-002022)
- Suministro de voltaje a través de USB
- Intervalo de temperatura de funcionamiento extendido de -40°C a 85°C (-40°F a 185°F)

### ELM327 USB

Este adaptador es una excelente herramienta usada como puente conjuntamente con el protocolo OBD-II y EOBD del vehículo, [12]. Puede leer y transmitir todos los datos desde la unidad electrónica de control del vehículo al dispositivo receptor. Adicionalmente, permite registrar códigos de fallas y visualizar tanto el rendimiento del motor como el comportamiento de sensores. La Figura 3.2 muestra el escáner ELM327 USB.



**Figura 3.2 ELM327 USB**

Las características más relevantes del ELM327 USB son las siguientes:

- Es compatible con ordenadores Windows, Linux, Mac.
- La conexión es directa con un cable USB de alta velocidad.
- Utilizado en vehículos con protocolo OBD-II y EOBD, independientemente de la marca y el modelo.
- Soporta los protocolos SAE J1850 VPW y SAE J1850 PWM.
- Coincide con el software Advanced Engine Check.

## USB-8502

Los dispositivos de interfaz CAN se comunican usando transceptores internos para tasa de transferencia de datos de alta velocidad/flexible y/o CAN de un solo cable, así como cualquier transceptor externo. Haciendo uso del controlador NI-XNET, este dispositivo puede crear aplicaciones que requieren manipulación de alta velocidad en tiempo real de cientos de marcos y señales CAN. Así mismo, puede importar, editar y usar señales desde archivos Fieldbus Exchange Format (FIBEX) y Database Container (DBC). El motor DMA impulsado por el dispositivo NI-XNET permite al procesador integrado mover marcos y señales CAN entre la interfaz y el programa del usuario sin interrupciones de CPU, disminuyendo la latencia del mensaje y liberando tiempo del procesador principal, [13]. La Figura 3.3 muestra una imagen de este dispositivo de interfaz CAN comercializado por National Instruments, NI.



Figura 3.3 USB-8502 [13]

## CAN (RLACS182)

Esta interfaz *clip-on* CAN proporciona una forma rápida y conveniente de acceder al bus CAN cuando se graban las señales del vehículo utilizando los sistemas de registro de datos desarrollado por Racelogic. Gracias a su innovador diseño con clip, elimina la necesidad de cablear directamente al bus CAN por lo que puede ser instalado fácilmente, [14]. La Figura 3.4 muestra esta interfaz de Racelogic.



Figura 3.4 RLACS182 [14]

## 3.2 Desarrollo del programa

Con base en el conocimiento y experiencia local en el uso del LabVIEW®, el desarrollo del programa se llevó a cabo en el contexto de esta plataforma. Aprovechando las características de visualización de la plataforma, se preparó, como parte accesoria al programa principal, una interfaz amigable con el usuario.

El programa se basó en el modelo de programación “productor/consumidor”, cuya función permite administrar varios procesos en paralelo. Con base en lo anterior, fue posible visualizar seis variables en tiempo real, además de lograr desplegar los 8 bytes de cada identificador. La Figura 3.5 muestra la estructura básica de la técnica productor/consumidor.

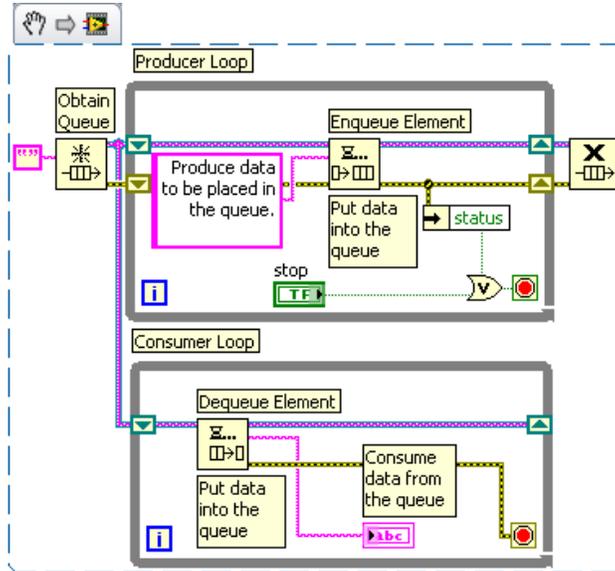
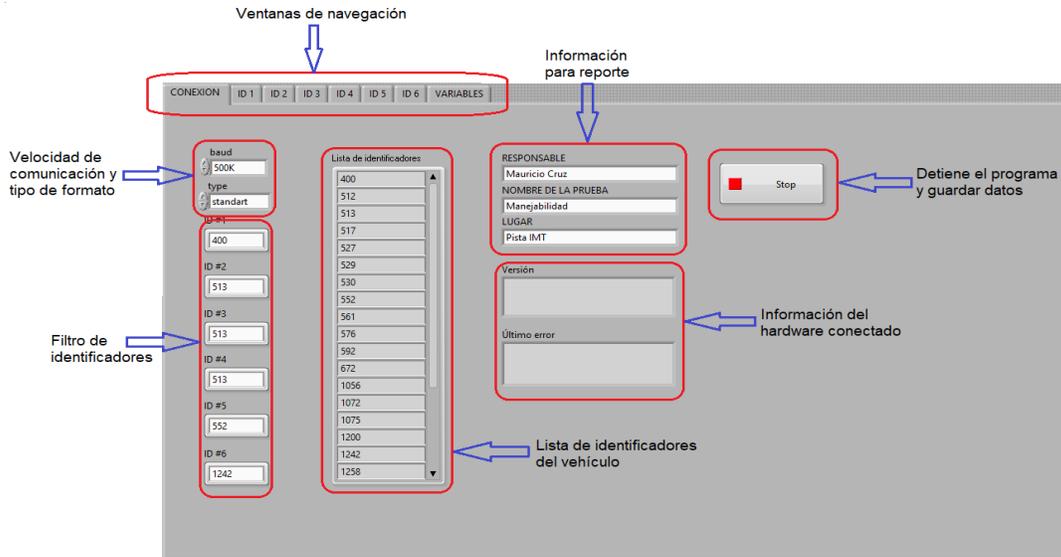


Figura 3.5 Ejemplo de estructura productor/consumidor [15]

La plataforma LabVIEW® permite crear diferentes diseños de interfaces para hardware externo. A través de la comunicación serial implementada, se logró la integración exitosa entre el dispositivo utilizado y el programa de adquisición de datos CAN desarrollado, además de que su versatilidad también permitió crear interfaces con equipos de terceros.

La Figura 3.6 muestra una imagen de la pantalla inicial del programa implementado, en la cual se observan los siete elementos básicos que la componen. Estos elementos son: ventana de navegación, velocidad de comunicación y tipo de formato, filtro de identificadores, lista de identificadores del vehículo, información del dispositivo (hardware) conectado, información para reporte y botón para detención del programa y almacenamiento de datos.



**Figura 3.6 Ventana de inicio y conexión**

La descripción y operación de cada uno de estos elementos se establecen a continuación:

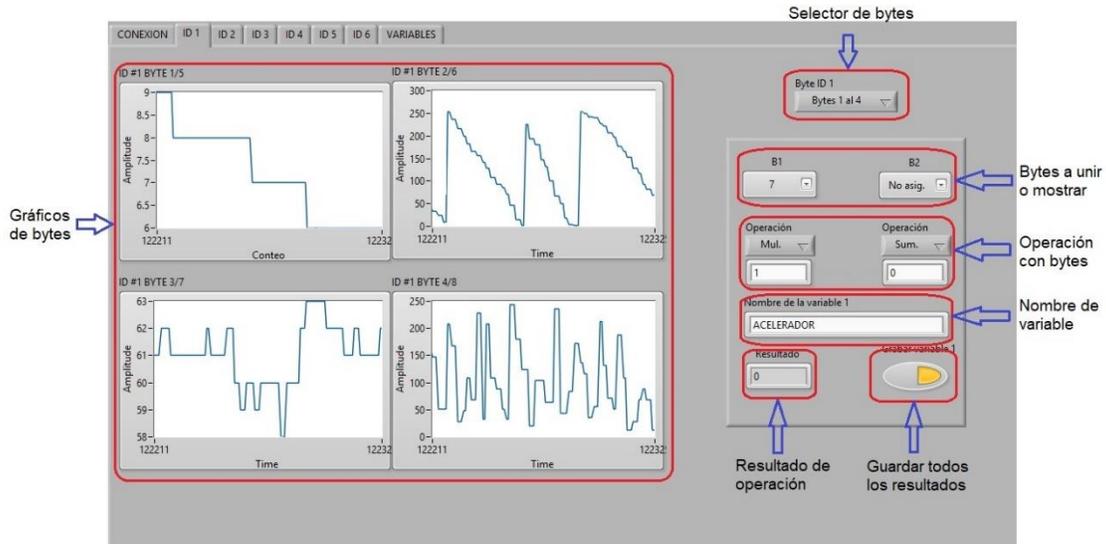
- **Ventana de navegación.** Se utiliza para mostrar la ventana elegida a través de las diferentes pestañas de visualización, donde la principal presenta la información filtrada de las variables de hasta 6 identificadores (ID), incluyendo el filtraje, los factores de ajuste y los valores para corrección de desvío (offset). En caso de que la variable no requiera de ajustes, se mostrará el valor del byte del identificador seleccionado o la unión de 2 bytes del mismo.
- **Velocidad de comunicación y tipo de formato.** El primer elemento permite configurar la velocidad de sincronización entre el bus de datos CAN y el dispositivo de adquisición. La velocidad de comunicación es elegible debido a que cada fabricante la define dependiendo de la cantidad de sensores y actuadores con los que cuente el vehículo. En general, la velocidad de transmisión del bus CAN se ve afectada por la longitud de cableado dentro del vehículo. El tipo de formato permite administrar las alternativas de longitud del identificador entre estándar (11 bits) y extendido (29 bits); este último regularmente es asignado para vehículos pesados o que se encuentren bajo la norma SAE J1939.
- **Filtro de identificadores.** Esta opción permite realizar el filtrado de todos los mensajes del bus de datos. En estos campos se pueden colocar hasta 6 identificadores iguales o diferentes, pues al contener hasta 8 bytes de información, puede darse el caso de que más de una variable o sensor puedan estar contenidos dentro de estos 8 bytes.
- **Lista de identificadores del vehículo.** Este campo facilita la elección de identificadores a visualizar, mostrando la lista de éstos en caso de que no se cuente con el diccionario del fabricante, tal como ocurre con algunos

identificadores de vehículos ligeros. Usualmente, los identificadores de mayor prioridad asociados a los sensores y actuadores con mayor importancia en el bus de datos del vehículo se encontrarán en los primeros lugares de la lista.

- Información del hardware conectado. En estos campos se especifica la versión y modelo del dispositivo. En dado caso de que ocurra un error en la conexión, éste se mostrará en el campo correspondiente.
- Información para reporte. Los campos asociados a este apartado permiten introducir los datos del responsable de la prueba, del tipo de prueba o actividad en desarrollo, así como el lugar donde se lleva a cabo. Este apartado es útil para control y generación de reportes.
- Detención de programa y almacenamiento de datos. Este elemento corresponde al botón de paro o detención del programa. Al ser presionado detendrá la adquisición de datos e inmediatamente desplegará una ventana con tres opciones:
  - Guardado de la información asociada solamente a las variables o identificadores filtrados.
  - Guardado de todos los identificadores, ya sean filtrados o no. Recopila toda la información transmitida en el bus de datos.
  - No Guardar, que implica únicamente detener el programa sin ninguna acción de guardado de información.

Nota: En ambas opciones de guardado se genera un archivo de hoja de cálculo con la información de los datos adquiridos.

En la Figura 3.7 se muestra el apartado para configuración del identificador, colocado en la pestaña de uno de los seis identificadores (ID 1 en este ejemplo). La ventana de la pestaña de configuración que se presenta es la misma para los 6 identificadores filtrados. La ventana de configuración del identificador ID 1 muestra siete secciones que se describen a continuación.



**Figura 3.7 Ventana de configuración de identificador**

La sección de “Gráficos de bytes” conforma la parte visual que contiene el identificador. Por cuestiones de espacio y representación solamente se despliegan cuatro gráficos que muestran las magnitudes de los bytes. Es posible interactuar entre los bytes del 1 al 4 y del 5 al 8 mediante el accionamiento del botón identificado como selector de bytes (Byte ID).

El apartado de “Bytes a unir o mostrar” permite unir dos bytes en caso de que sea requerido, los cuales se eligen por medio de los botones de selección correspondientes. La sección de “Operación con bytes” permite, mediante los campos correspondientes, establecer y aplicar un factor de escala y una magnitud de compensación de offset. El campo de “Nombre de variable” permite introducir una etiqueta que asocie la información de un byte con una variable de nombre específico.

Por último, los campos de “Resultado de operación” y “Guardar todos los resultados”, permiten tanto visualizar el valor de la magnitud física de la conversión del byte o bytes elegidos y asociados a la variable, como el almacenamiento de los resultados asociados a dicha variable, respectivamente. Es importante mencionar que todos los resultados serán almacenados a partir de que la opción guardar todos los resultados esté activa.

La última pestaña mostrada en la Figura 3.6 que corresponde a “Variables”, permite visualizar hasta 6 variables en tiempo real, las cuales fueron previamente configuradas en cada una de las pestañas de los identificadores. La Figura 3.8 muestra de manera general las variables elegidas, su nombre y el indicador numérico correspondiente al valor mostrado gráficamente.

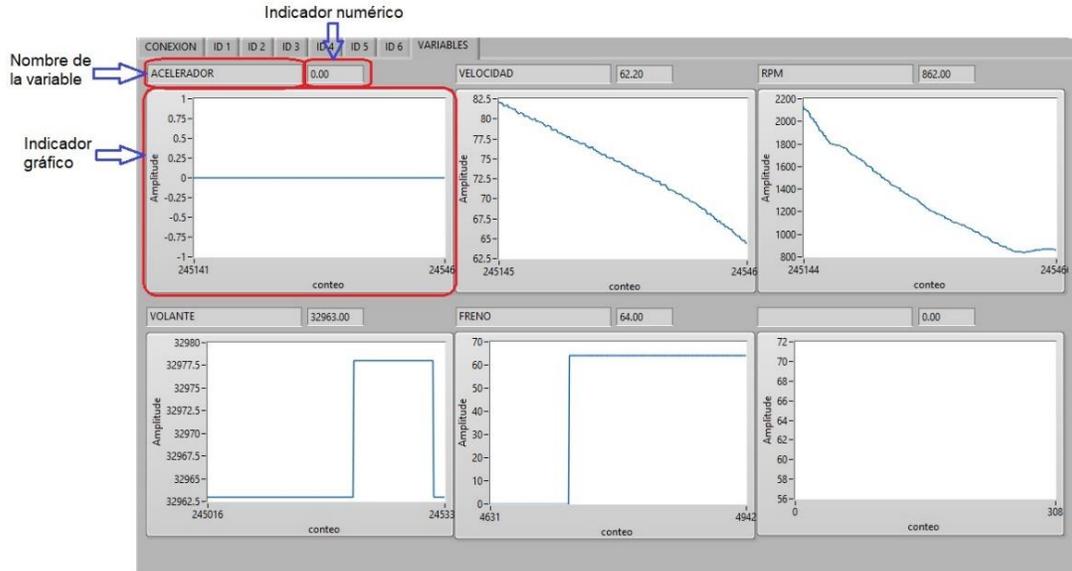


Figura 3.8 Ventana de variables filtradas

### 3.3 Hardware empleado y conexión

Para la conexión del bus CAN de un vehículo con el programa desarrollado, se requieren de los siguientes componentes.

- Conector OBD-II del vehículo de prueba.
- Cable con conector OBD-II macho y terminación DB9 hembra
- Cable con conector J1939 de 9 pines macho y terminación DB9 hembra
- Decodificador USB/CAN (dispositivo utilizado: PCAN-USB)
- Computadora con el programa y controladores instalados

El conector OBD-II del vehículo de prueba se ubicaba en la parte inferior izquierda del tablero de instrumentos, como se muestra en la imagen de la Figura 3.9, correspondiente a una conexión “hembra”.



Figura 3.9 Puerto OBD-II en vehículo

Generalmente, los conectores para acceso al bus CAN de vehículos ligeros son diferentes a los de vehículos pesados (Figura 3.10). El conector OBD-II hembra en la Figura 3.9, perteneciente a un vehículo ligero, requiere de un cable con conector

OBD-II macho en un extremo y un conector DB9 hembra en el otro extremo. Este último se conecta al DB9 macho del hardware PCAN-USB. El cable utilizado con los conectores correspondientes se muestra en la imagen izquierda de la Figura 3.10.



**Figura 3.10** Cable para conector OBD-II (común en vehículos ligeros) y conector de 9 pines J1939 (frecuente en vehículos pesados), izquierda y derecha, respectivamente

Los vehículos pesados utilizados para validar el programa desarrollado, contaban con el conector de diagnóstico de 9 pines macho, que requirió del cable con conector J1939 de 9 pines hembra y terminación DB9 hembra, como el mostrado en el lado derecho de la Figura 3.10. En todas las pruebas realizadas se utilizó el decodificador PCAN-USB, el cual incorpora un conector DB9 macho con terminación USB macho que se conecta a cualquier puerto USB de una computadora.

El programa se instaló previamente en una computadora portátil, así como los controladores del dispositivo utilizado donde, además, se guardaban los registros colectados. Cabe mencionar que la instalación de este programa no requirió de la plataforma de LabVIEW®, ya que se acondicionó lo necesario para la autoejecución independiente del programa con los archivos necesarios para su correcto funcionamiento. La Tabla 3.1 muestra los requisitos del equipo de cómputo para que el software pueda instalarse y funcionar adecuadamente.

**Tabla 3.1** Requisitos mínimos para instalación de software.

Elementos	Descripción
Procesador	86 o 64 bits a 1 GHz o más rápido con conjunto de instrucciones SSE2
RAM	2 GB
HDD	4 GB
Gráficos	Compatible con DirectX 10
Sistema Operativo	Windows 10/8.1/7 SP1 o superior
Programas Preinstalados	Microsoft Excel 2014 o superior (activado)



## 4. Ejemplo de aplicación

---

La validación del correcto funcionamiento del programa se llevó a cabo a través de pruebas realizadas en vehículos con protocolo de comunicación CAN. Se utilizaron cinco vehículos, tres de transporte de carga pesada y dos ligeros. Para los vehículos ligeros se definieron una serie de pruebas para resaltar los sensores de interés y facilitar su localización en el bus de datos. Para los vehículos pesados se creó una base de datos conforme a la norma SAE J1939 para facilitar la interpretación y búsqueda de identificadores y sensores dentro de estos vehículos. Aquí se describen las pruebas y cálculos para determinar la magnitud de las variables medidas por los sensores, tanto para vehículos ligeros como para los pesados.

### 4.1 Implementación en vehículos Ligeros

Para la detección e identificación de los sensores en vehículos ligeros se implementó una serie de pruebas específicas que permitieran resaltar el funcionamiento de cada sensor. Una de estas pruebas correspondió a la de aceleración, la cual consistió en partir desde el reposo hasta alcanzar una velocidad de 100 km/h. Con esta prueba lo que se buscó fue detectar los sensores de aceleración que pudieran estar instalados en el vehículo, así como los correspondientes a los pedales de acelerador y del embrague.

Otra prueba realizada fue la ejecución de recorridos en trayectorias circulares relativamente pequeñas para identificar los sensores vinculados a la medición de la velocidad angular de cada rueda por medio de las diferencias en la velocidad. Por ejemplo, cuando el vehículo recorría una trayectoria circular pequeña en el sentido de las manecillas del reloj, las ruedas con mayor velocidad serían las ubicadas al lado izquierdo del vehículo y de éstas la que más distancia recorrería en el mismo intervalo de tiempo y por tanto a mayor velocidad, fue la delantera. En este sentido, la rueda delantera izquierda es la que registró la mayor velocidad de rotación, seguida de la rueda izquierda trasera, de la derecha delantera y, finalmente, la rueda con menor velocidad rotacional fue la trasera derecha.

Otra prueba fue la denominada de zig-zag, ejecutada con apoyo de una serie de conos alineados y separados a una determinada distancia, desplazando el vehículo a diferentes velocidades pasando alternativamente entre cada cono sin derribarlos. Mediante esta prueba se identificaron sensores asociados al sistema de control de estabilidad, como el sensor de giro del volante, el sensor de movimiento angular en coleo (giro alrededor del eje z, yaw), el sensor de aceleración lateral y, en general, aquellos sensores asociados también al sistema ABS.

La última prueba fue de frenado, que consistió en llevar el vehículo hasta una velocidad de 80 km/h para luego aplicar el freno a fondo. Con esta maniobra se

evidenciaría el sensor de aceleración longitudinal, el sensor del movimiento angular en cabeceo (giro alrededor del eje  $y$ , *pitch*) y el sensor del pedal del freno.

En la Figura 4.1 se indican los movimientos angulares evaluados en las pruebas descritas con anterioridad. *Roll* (Balanceo), *Pitch* (Cabeceo) y *Yaw* (Coleo) corresponden a las rotaciones alrededor de los ejes  $x$  (longitudinal),  $y$  (transversal) y  $z$  (vertical), respectivamente.

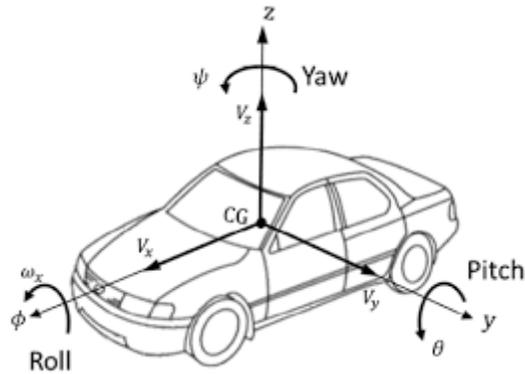


Figura 4.1 Movimientos de traslación y rotación del vehículo

El proceso para identificar los sensores dentro del programa, aplicado a vehículos ligeros, es manual y visual. Esto, debido a que es difícil conocer qué sensores corresponden a cada identificador, al no contar con el diccionario de identificadores generado por el fabricante del vehículo.

Para el caso de vehículo ligeros bajo el formato CAN 2.0A o formato estándar, cada identificador está compuesto por 11 bits. Este identificador es presentado en el programa en formato decimal, ordenado en una lista de forma ascendente. Para la revisión de cada identificador se partió con valor decimal más pequeño ya que éste pertenece al grupo de mayor importancia para la principal unidad electrónica de control del vehículo. Los identificadores se examinaron en grupos de 6, así considerado en el diseño del programa para filtrar y visualizar dicha cantidad de forma simultánea.

Cuando se examina cada identificador se aprecian regularmente con 8 bytes, en los cuales puede encontrarse uno o más sensores. Cuando un byte genera una gráfica con una señal escalonada se dice que este byte contiene una señal de baja resolución, lo cual conduce a buscar su complemento, que regularmente es un byte contiguo.

Para unir estos dos bytes basta con identificar al byte con los bits más significativos; es decir, aquel byte cuya magnitud muestra cambios menos abruptos o cuya magnitud varía poco en el tiempo, como se aprecia para el Byte 1 de la gráfica izquierda mostrada en la Figura 4.2. Aquel byte contiguo con variaciones abruptas en su magnitud usualmente corresponderá al byte menos significativo, como puede apreciarse para el Byte 2 de la gráfica derecha mostrada en la Figura 4.2. Para unir estos dos bytes basta determinar el valor decimal del Byte 1 y multiplicarlo por 256 ( $2^8$ ), luego sumarle el valor decimal del byte 2.

Cabe aclarar que el programa interpreta todos los valores adquiridos en formato decimal; por tanto, las operaciones se harán también en ese formato numérico. Por ejemplo, el byte 1 tiene un valor decimal de 11 y el byte 2 corresponde al valor decimal de 203 que, en formato binario, son 00001011 y 11001011, respectivamente. Al unir estos valores binarios, considerando que el byte 1 es el más significativo, resulta el número binario 0000101111001011 que en decimal corresponde al 3019, obtenido al aplicar la operación  $(256 * 11 + 203)$ . Esto se representa por la siguiente expresión:

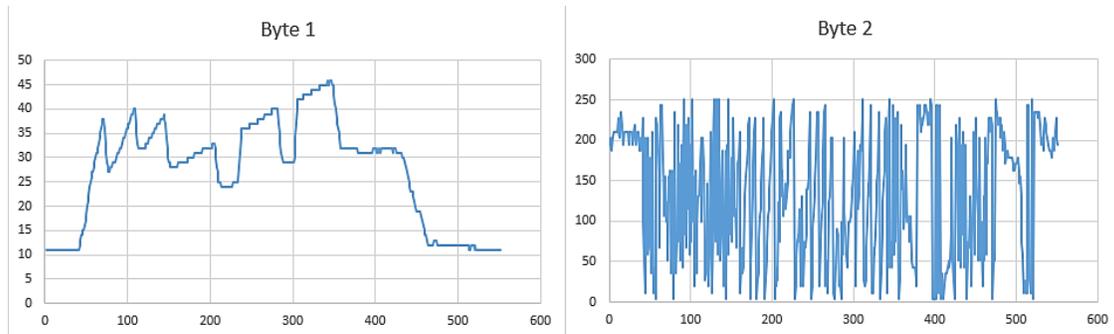
$$V_r = (VB_1 * 256) + VB_2$$

Donde:

Vr: Valor decimal resultante de la unión de los dos bytes binarios.

VB1: Valor decimal del byte más significativo (menos cambiante)

VB2: Valor decimal del byte menos significativo (más cambiante)



**Figura 4.2 Señal de 2 Bytes**

El resultado de unir los dos bytes dará una gráfica con una señal más definida y con una magnitud mayor. Por ejemplo, las gráficas mostradas en la Figura 4.2 corresponden a los bytes asociados con la señal de velocidad angular del motor, expresadas en RPM. Al realizar la operación anterior en este conjunto de bytes se obtiene la información correcta que, a manera de ejemplo, se representa gráficamente en la Figura 4.3. Cabe mencionar que, para lograr el resultado correcto, a los datos obtenidos se les aplicó un factor determinado experimentalmente, al comparar esta magnitud con lo reportado en el panel de instrumentos del vehículo.

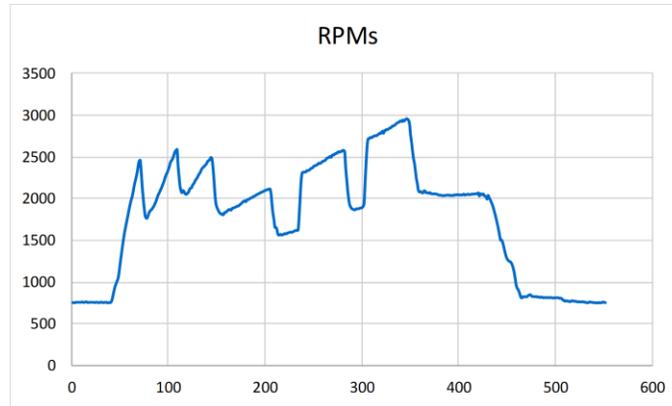


Figura 4.3 Señal de RPM con ajuste de escala

El trabajo de interpretación de cada identificador se simplificaría enormemente si se contara con el diccionario de identificadores del fabricante del vehículo. En dicho diccionario se encuentran los factores y compensaciones para cada conjunto de bytes identificados y asociados con determinados sensores o información existente en el bus de datos CAN. No obstante, esos factores no están disponibles al público regularmente.

Para los casos en los cuales se requiere unir más de 2 bytes, se recurre a la expresión general:

$$Vr = \sum_{i=1}^n VB_i * 2^{(n-i)*8}$$

Donde:

$n$ : Es el número de bytes a unir.

$Vr$ : Es el valor decimal resultante de la unión.

$VB_i$ : El  $i$ -ésimo valor decimal del  $i$ -ésimo byte (del más significativo al menos significativo)

Como ejemplo de aplicación se muestra el caso de unir 4 bytes, correspondientes a la longitud, en metros, recorrida por el vehículo. El byte 1 (más significativo) tiene un valor de 1, el byte 2 un valor de 0, el byte 3 un valor de 10 y el byte 4 (menos significativo) tiene un valor de 128. Con base en la expresión general, con  $n = 4$  que es el número de bytes a unir, se tiene:

$$Vr = \sum_{i=1}^4 VB_i * 2^{(4-i)*8} + VB_2 * 2^{(4-2)*8} + VB_3 * 2^{(4-3)*8} + VB_4 * 2^{(4-4)*8}$$

$$Vr = \sum_{i=1}^4 1 * 2^{24} + 0 * 2^{16} + 10 * 2^8 + 128 * 2^0$$

$$Vr = \sum_{i=1}^4 16 \ 777216 + 0 + 2560 + 128$$

$$Vr = 16779904$$

Dado que la unidad de esta magnitud es metros, el valor de la distancia recorrida corresponde a 16779.904 km. El programa desarrollado fue diseñado para unir sólo 2 bytes en tiempo real, pero gracias a la expresión general es posible unir más de 2 bytes como un post-procesamiento al generar el reporte y filtrar los bytes de interés.

Derivada de la prueba de aceleración, se obtuvieron tanto la señal de velocidad como la señal de la posición o aplicación del pedal del acelerador del vehículo, mostradas gráficamente en la Figura 4.4. Para su apreciación, la velocidad corresponde a la línea naranja, que aumenta hasta alcanzar los 100 km/h para después caer a los 0 km/h. La línea azul corresponde al porcentaje de desplazamiento del acelerador, que varía entre 0 y 60 %. Como se puede observar, al sincronizar los tiempos de ambas señales se nota que el pedal del acelerador se va presionando hasta alcanzar la velocidad de 100 km/h para, posteriormente, soltarlo abruptamente e iniciar el frenado.

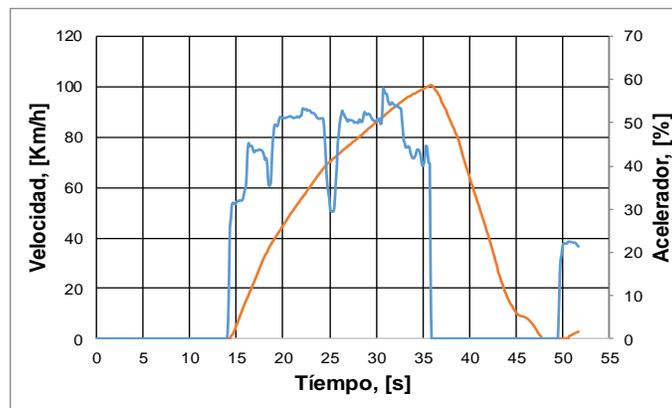


Figura 4.4 Señales de velocidad y pedal de acelerador

En el apartado de anexos se presentan gráficamente otras variables medidas en los vehículos de prueba.

## 4.2 Implementación en vehículos pesados

Para el caso de vehículos pesados, los identificadores se apegan a la norma SAE J1939, por lo que no fue necesario realizar pruebas específicas para evidenciar los ID de los diferentes sensores con los que cuenta el vehículo. Los identificadores

normalmente utilizados en este tipo de vehículos tienen una longitud de 29 bits, lo que permite representar números decimales de gran magnitud. Por ejemplo, el número binario de 29 bits 0000110011110000000001000000 corresponde al número decimal 217056256 y también al número hexadecimal 0CF00400. A partir de la representación hexadecimal es muy sencillo identificar el código PGN (*Parameter Group Number*) asociado al identificador con el cual, con base en la norma SAE J1939-17, se identifica el sensor o variable física correspondiente. Para ello, se ubican los cuatro dígitos centrales del número hexadecimal anterior (0CF00400) que corresponden al número, también hexadecimal, "F004". Este número hexadecimal convertido a número decimal es el "61444", listado en la lista de códigos PGN de dicha norma. El código PGN 61444 contiene información generada por el Controlador Electrónico del Motor y, particularmente, información sobre la posición y longitud de los datos como el par y velocidad del motor. Éstos últimos son identificados a través de sus códigos SPN (*Suspect Parameter Number*) en la trama de datos contenidos en los mensajes transmitidos en el bus CAN.

La Figura 4.5 muestra un fragmento de la norma SAE J1939-71 donde se ilustra la información particular contenida asociada al código PGN 61444 referido anteriormente. Así mismo, brinda información de las diferentes variables relacionadas con el motor y su código SPN (*Suspect Parameter Number*).

<b>PGN 61444</b>	<b>Electronic Engine Controller 1</b>	<b>- EEC1</b>	
Engine related parameters			
Transmission Repetition Rate:	engine speed dependent		
Data Length:	8		
Extended Data Page:	0		
Data Page:	0		
PDU Format:	240		
PDU Specific:	4	PGN Supporting Information:	
Default Priority:	3		
Parameter Group Number:	61444	(0xF004)	
Start Position	Length	Parameter Name	SPN
1.1	4 bits	Engine Torque Mode	899
2	1 byte	Driver's Demand Engine - Percent Torque	512
3	1 byte	Actual Engine - Percent Torque	513
4-5	2 bytes	Engine Speed	190
6	1 byte	Source Address of Controlling Device for Engine Control	1483
7.1	4 bits	Engine Starter Mode	1675
8	1 byte	Engine Demand - Percent Torque	2432

**Figura 4.5 Información sobre el PGN 61444, [16]**

El código SPN es un número asignado por la SAE J1939-71 que corresponde a parámetros específicos a nivel de componente o de sistema, que algunos fabricantes de vehículos vinculan con el diagnóstico de códigos de error (DTC). De acuerdo con la Figura 4.5, entre la información asociada a los códigos SPN está:

- Posición inicial, en los bytes de datos, del parámetro de interés
- Longitud del dato en bits o en bytes

- El nombre del parámetro o variable
- El tipo de dato
- La resolución o factor de conversión
- La compensación o ajuste de offset
- El intervalo del valor
- La etiqueta de referencia

Los SPN que comparten características comunes se agrupan en conjuntos de parámetros (PG) y se transmiten a través de la red CAN, utilizando el número de grupo de parámetros (PGN). Lo descrito anteriormente se puede apreciar en la Figura 4.6 para el caso particular del SPN 190, correspondiente a la velocidad de rotación del motor.

<b>SPN 190</b>	<b>Engine Speed</b>	
Actual engine speed which is calculated over a minimum crankshaft angle of 720 degrees divided by the number of cylinders.		
Data Length:	2 bytes	
Resolution:	0.125 rpm/bit, 0 offset	
Data Range:	0 to 8,031.875 rpm	Operational Range: same as data range
Type:	Measured	
Supporting information:		
PGN reference:	61444	

Figura 4.6 SPN velocidad del motor, [16]

La imagen de la Figura 4.7 muestra la interpretación de los códigos PGN y SPN, así como su disposición en la trama digital transmitida en el bus CAN. Estos corresponden al tren de información (bytes) del ID y al tren de datos (bytes) donde específicamente se vuelcan las magnitudes de los parámetros de los diferentes componentes y sistemas asociados disponibles en el CAN.

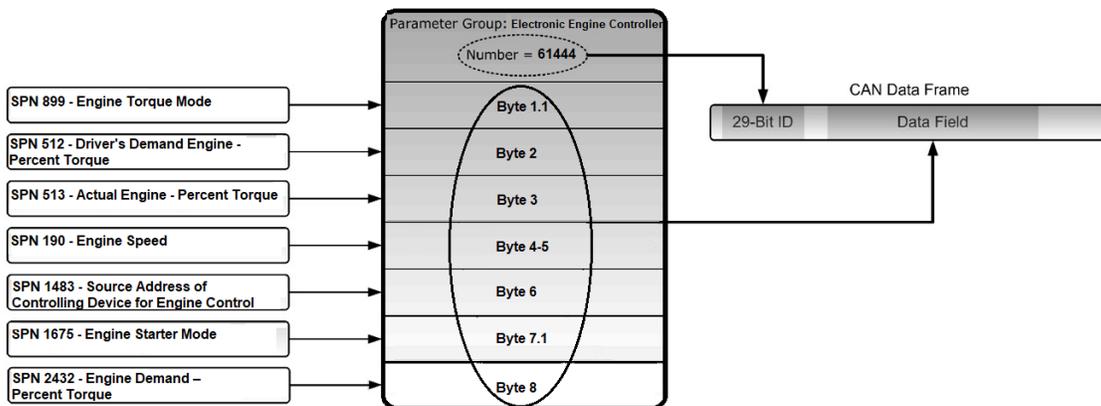


Figura 4.7 Orden de los SPN en el PGN 61444

En el ejemplo mostrado en la Figura 4.7, los números SPN (899, 512, 513, 190, 1483, 1675 y 2432) son distribuidos en los ocho bytes del campo de datos vinculados al PGN 61444, identificado como Controlador Electrónico del Motor. Es un requisito que todos los nodos que envían o reciben el PGN 61444 conozcan la estructura del PGN, así como todos los SPN asociados.

En el apartado de anexos se presentan algunas variables obtenidas del bus CAN para vehículos pesados. De esas se obtuvieron parámetros como la señal de velocidad general del vehículo, la velocidad de cada rueda, el consumo de combustible, la distancia recorrida, el porcentaje de torque demandado, los cambios en la transmisión y otros más. Para los vehículos pesados la detección de sensores es más sencilla, ya que existe la norma J1939-71 que incluye el catálogo (diccionario) que contiene los parámetros existentes en esos vehículos. De igual forma, en los anexos se presentan las tablas con los grupos de parámetros identificados para los vehículos pesados evaluados.

## Conclusiones

---

EL avance en la tecnología ha favorecido que una gran cantidad de sistemas, componentes y sensores estén presentes en la mayoría de los vehículos actuales. Para su correcto funcionamiento y operación, todos ellos deben estar permanentemente comunicados, sea para propósitos de información o de control. Uno de los protocolos de comunicación es el bus CAN (*Controller Area Network*), el cual es el más ampliamente usado actualmente en la industria automotriz y en otras áreas afines. La información que transmite la unidad electrónica de control a través de ese protocolo, es útil como complemento de sistemas de instrumentación externos.

Para aprovechar la información generada por sensores propios de vehículos se diseñó e implementó un programa que decodifica los mensajes transmitidos bajo el protocolo CAN en un vehículo. La adquisición requiere de un adaptador de lectura de datos del bus, dispositivo intermediario entre el vehículo y el medio de registro y almacenamiento controlado por el programa. El programa desarrollado permite seleccionar y adquirir datos en el bus CAN de los sistemas de sensores en un vehículo, sea automóvil, de carga ligera o de servicio pesado, siguiendo reglas normativas de composición digital de mensajes. Su interfaz de visualización facilita la elección de mensajes de diferentes sensores y observar sus señales asociadas en tiempo real empleando una computadora portátil, así como acondicionamiento, filtrado y almacenamiento en un formato compatible de hoja de cálculo para su posterior análisis.

Las capacidades del programa incluyen el manejo de hasta seis identificadores cuyas señales pueden ser filtradas y visualizadas simultáneamente, ajustando la frecuencia de muestreo con la velocidad de transmisión del bus CAN. De acuerdo a sus características de operación y funcionamiento, el programa puede ser instalado en cualquier ordenador que incorpore el sistema operativo Windows 7 o superior. Asimismo, el programa permite generar un reporte con los identificadores filtrados y todos los parámetros de variables registradas en el bus de datos.

La ejecución de un conjunto básico de maniobras de prueba fue útil para verificar la identificación de mensajes e identificadores asociados a diversos sensores y validar la utilización del programa diseñado. En maniobras de ejecución controlada, pueden incluso identificarse mensajes no estandarizados, que no son fácilmente ubicables en diccionarios o catálogos de identificadores, lo que es frecuente en automóviles y vehículos ligeros.

Los mensajes de los sensores y sistemas que se transmiten bajo el protocolo CAN, una vez decodificados y acondicionados, proporcionan información sobre la

operación y desempeño de los sistemas del vehículo durante su uso. Esta información puede integrarse a la obtenida con esquemas de instrumentación externos, enriqueciendo el análisis de desempeño, particularmente durante pruebas dinámicas. La información obtenida a través del CAN depende de los sensores instalados físicamente en el vehículo que estén emitiendo señales de comunicación, incluso de desconexión. Por tanto, el programa puede también ser utilizado para verificar la existencia o buen funcionamiento de sistemas y equipamientos en el vehículo que no son fácilmente percibidos en una revisión físico-mecánica convencional.

Debe considerarse que en vehículos ligeros es común que cada fabricante particularice la codificación y aplique sus propios identificadores, mientras que en vehículos pesados hay mayor uniformidad y seguimiento estandarizado conforme la norma SAE J1939. El registro de parámetros CAN cuyos identificadores estén estrechamente vinculados a la conducción del vehículo; es decir, de sensores, dispositivos o sistemas activados por el conductor durante la operación, pueden utilizarse para evaluación y análisis de estilos o características de manejo.

## Referencias

---

[1]. CAN in Automation (CiA). History of the CAN technology. (n.d.). Retrieved June 22, 2021, from <https://www.can-cia.org/can-knowledge/can/can-history/>

[2]. 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. (2016). Revisión documental del protocolo CAN como herramienta de comunicación y aplicación en vehículos. [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiwrKtk6\\_0AhUXmGoFHdj3DBcQFnoECAgQAQ&url=https%3A%2F%2Fimt.mx%2Farchivos%2FPublicaciones%2FPublicacionTecnica%2Fpt474.pdf&usg=AOvVaw1tIlgBHujjxEWne0qc2mJHE](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiwrKtk6_0AhUXmGoFHdj3DBcQFnoECAgQAQ&url=https%3A%2F%2Fimt.mx%2Farchivos%2FPublicaciones%2FPublicacionTecnica%2Fpt474.pdf&usg=AOvVaw1tIlgBHujjxEWne0qc2mJHE)

[3]. Anónimo. (n.d.). Introducción al bus CAN. Retrieved June 25, 2021, from <https://www.um.es/documents/4874468/19345367/ssee-da-t03-02.pdf/c4bc7d45-bb4a-4cbe-b9fb-7835ae37d2ac>

[4]. Denton, T. (2016). Diagnóstico Avanzado de fallas automotrices (Tercera Ed). España: Alfaomega. <https://www.alfaomega.com.mx/default/catalogo/profesional/diagnostico-avanzado-de-fallas-automotrices.html>

[5]. MecatrónicaLATAM. (n.d.). Sensores. Retrieved June 22, 2021, from <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/sensores/#:~:text=Al>

[6]. Wikipedia. Acelerómetro. (n.d.). Retrieved June 22, 2021, from <https://es.wikipedia.org/wiki/Acelerómetro>

[7]. Gunther Ketterer. Sistema de Control de Estabilidad. ¿Qué es y cómo funciona? | Excelencias del Motor. (n.d.). Retrieved June 22, 2021, from <https://www.excelenciasdelmotor.com/noticia/sistema-de-control-de-estabilidad-¿que-es-y-como-funciona>

[8]. MTE-THOMSON. Sensor de Oxígeno. (n.d.). Retrieved June 22, 2021, from <https://mte-thomson.com/es/sensor-de-oxigeno/>

[9]. HBM. (n.d.). ¿Qué es un sensor de presión? Retrieved June 22, 2021, from <https://www.hbm.com/es/7646/que-es-un-sensor-de-presion/>

[10]. Rastreator.com®. (n.d.). Sensor de lluvia en un vehículo. Retrieved June 22, 2021, from <https://www.rastreator.com/seguros-de-coche/guias/como-funciona-el-sensor-de-lluvia-en-un-vehiculo.aspx>

[11]. PEAK-System. (n.d.). PCAN-USB. Retrieved June 22, 2021, from <https://www.peak-system.com/PCAN-USB.199.0.html?&L=1>

[12]. CODIGOSDTC. ELM327 USB | 2020 | Funcionamiento y sus ventajas. (n.d.). Retrieved June 22, 2021, from <https://codigosdtc.com/elm327-usb/>

[13]. National Instruments. Dispositivo de Interfaz CAN - NI. (n.d.). Retrieved June 22, 2021, from <https://www.ni.com/es-mx/shop/hardware/products/can-interface-device.html?modelId=139101>

[14]. Racelogic. Clip on CAN Interface - Data Sheet - RACELOGIC Support Centre. (n.d.). Retrieved June 22, 2021, from [https://en.racelogic.support/01VBOX\\_Automotive/04Modules\\_and\\_accessories/Clip\\_on\\_CAN\\_Interface/Quick\\_Start\\_Guide/Clip\\_on\\_CAN\\_Interface\\_-\\_Data\\_Sheet](https://en.racelogic.support/01VBOX_Automotive/04Modules_and_accessories/Clip_on_CAN_Interface/Quick_Start_Guide/Clip_on_CAN_Interface_-_Data_Sheet)

[15]. National Instruments. Arquitectura de productor/consumidor en LabVIEW - NI. (n.d.). Retrieved June 25, 2021, from <https://www.ni.com/es-mx/support/documentation/supplemental/21/producer-consumer-architecture-in-labview0.html>

[16]. SAE. Vehicle Application Layer J1939/71\_201309. (n.d.). Retrieved June 25, 2021, from [https://www.sae.org/standards/content/j1939/71\\_201309/](https://www.sae.org/standards/content/j1939/71_201309/)

# Anexo 1.

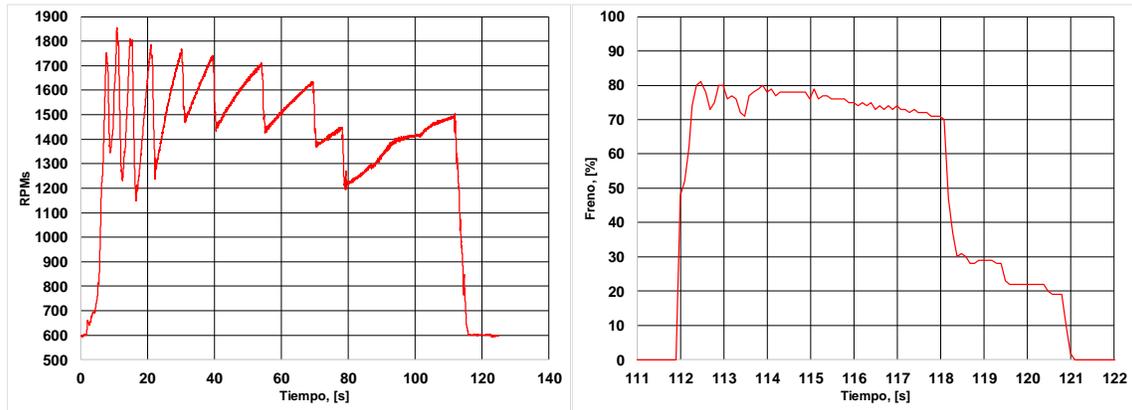


Figura A1.1 Señal de RPM y pedal de freno.

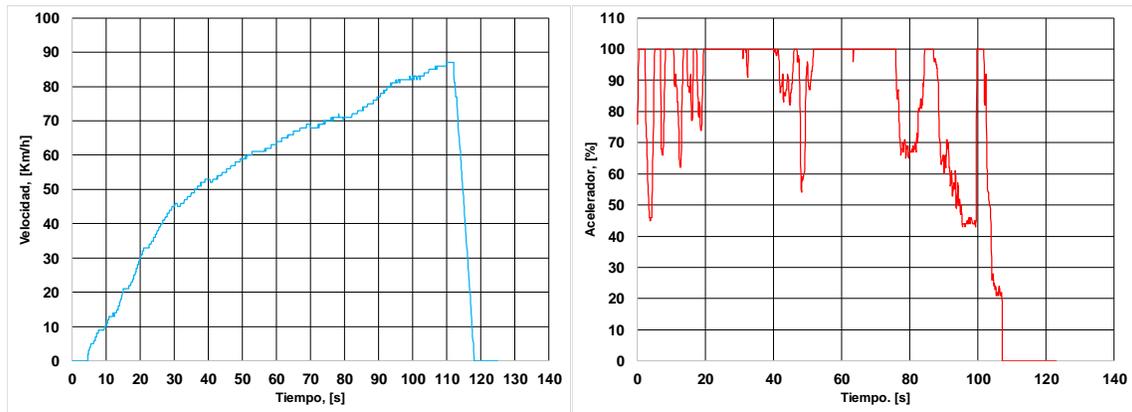


Figura A1.2 Señal de velocidad y pedal del acelerador.

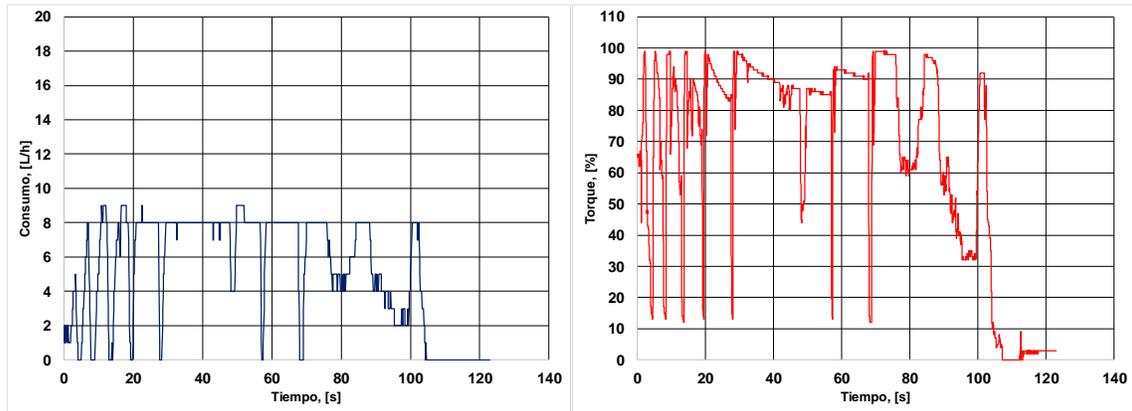


Figura A1.3 Señal de consumo de combustible y porcentaje de torque.

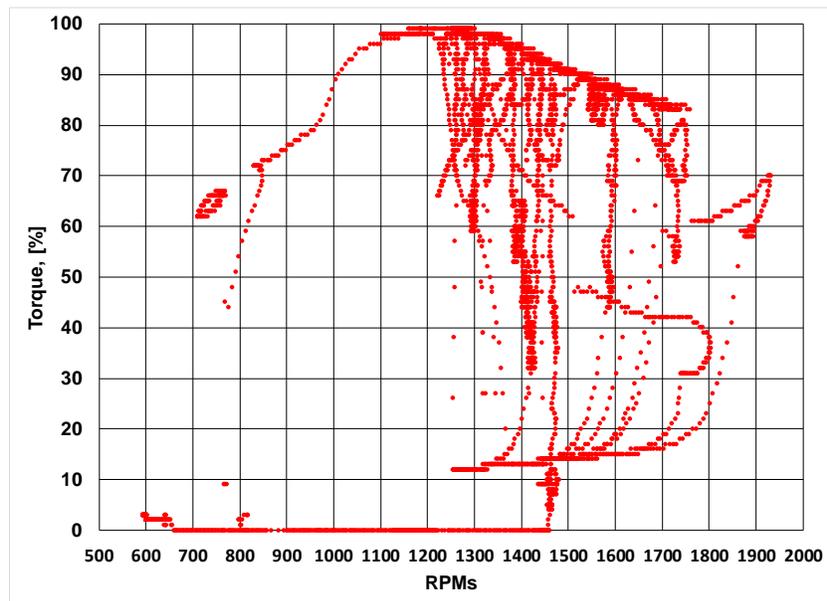


Figura A1.4 Curva de torque de un motor DD15.

Tabla A1.1 PGN para vehiculo International Pro Star modelo 2013

International Pro Star modelo 2013	
PGN	PGN name
57344	Cab Message 1
61440	Electronic Retarder Controller 1
61441	Electronic Brake Controller 1
61446	Electronic Axle Controller 1
64892	Diesel Particulate Filter Control 1
64947	Aftertreatment 1 Outlet Gas 2
64948	Aftertreatment 1 Intake Gas 2
65198	Air Supply Pressure
65203	Fuel Information (Liquid)
65213	Fan Drive
65215	Wheel Speed Information
65217	High Resolution Vehicle Distance
65244	Idle Operation
65247	Electronic Engine Controller 3
65248	Vehicle Distance
65252	Shutdown
65253	Engine Hours, Revolutions
65255	Vehicle Hours
65257	Fuel Consumption (Liquid)
65262	Engine Temperature 1
65263	Engine Fluid Level/Pressure 1
65264	Power Takeoff Information
65265	Cruise Control/Vehicle Speed
65266	Fuel Economy (Liquid)
65269	Ambient Conditions
65270	Inlet/Exhaust Conditions 1
65271	Vehicle Electrical Power 1
65272	Transmission Fluids 1
65273	Axle Information
65274	Brakes
65276	Dash Display
65279	Water in Fuel Indicator

**Tabla A1.2 PGN para vehículo Freightliner DD15 Cascadia 2018**

<b>Freightliner DD15 Cascadia 2018</b>	
<b>PGN</b>	<b>PGN name</b>
0	Torque/Speed Control 1
256	Transmission Control 1
57344	Cab Message 1
61440	Electronic Retarder Controller 1
61441	Electronic Brake Controller 1
61445	Electronic Transmission Controller 2
64892	Diesel Particulate Filter Control 1
64917	Transmission Fluids 2
64932	PTO Drive Engagement
64947	Aftertreatment 1 Outlet Gas 2
64948	Aftertreatment 1 Intake Gas 2
64964	Electronic Brake Controller 5
64976	Inlet/Exhaust Conditions 2
65098	Electronic Transmission Controller 7
65103	Vehicle Dynamic Stability Control 1
65110	Aftertreatment 1 SCR Reagent Tank 1 Information
65135	Adaptive Cruise Control
65188	Engine Temperature 2
65213	Fan Drive
65215	Wheel Speed Information
65217	High Resolution Vehicle Distance
65219	Electronic Transmission Controller 5
65243	Engine Fluid Level/Pressure 2
65244	Idle Operation
65245	Turbocharger
65247	Electronic Engine Controller 3
65248	Vehicle Distance
65252	Shutdown
65253	Engine Hours, Revolutions
65255	Vehicle Hours
65257	Fuel Consumption (Liquid)
65261	Cruise Control/Vehicle Speed Setup
65262	Engine Temperature 1
65263	Engine Fluid Level/Pressure 1
65264	Power Takeoff Information
65265	Cruise Control/Vehicle Speed

---

65266	Fuel Economy (Liquid)
65269	Ambient Conditions
65270	Inlet/Exhaust Conditions 1
65271	Vehicle Electrical Power 1
65272	Transmission Fluids 1
65276	Dash Display
65279	Water in Fuel Indicator

**Tabla A1.3 PGN para autobús Irizar I8 Integral 2018**

<b>Autobus Irizar I8 Integral 2018</b>	
<b>PGN</b>	<b>PGN name</b>
0	Torque/Speed Control 1
61440	Electronic Retarder Controller 1
61441	Electronic Brake Controller 1
61442	Electronic Transmission Controller 1
61443	Electronic Engine Controller 2
61444	Electronic Engine Controller 1
61445	Electronic Transmission Controller 2
61449	Vehicle Dynamic Stability Control 2
61451	Electronic Steering Control
64964	Electronic Brake Controller 5
64994	Supply Pressure Demand
65102	Door Control 1
65103	Vehicle Dynamic Stability Control 1
65110	Aftertreatment 1 SCR Reagent Tank 1 Information
65113	Air Suspension Control 3
65114	Air Suspension Control 1
65128	Vehicle Fluids
65132	Tachograph
65134	High Resolution Wheel Speed
65196	Wheel Brake Lining Remaining Information
65197	Wheel Application Pressure High Range Information
65198	Air Supply Pressure
65213	Fan Drive
65215	Wheel Speed Information
65217	High Resolution Vehicle Distance
65247	Electronic Engine Controller 3
65254	Time/Date
65257	Fuel Consumption (Liquid)
65262	Engine Temperature 1
65263	Engine Fluid Level/Pressure 1
65265	Cruise Control/Vehicle Speed
65266	Fuel Economy (Liquid)
65268	Tire Condition
65269	Ambient Conditions
65270	Inlet/Exhaust Conditions 1
65275	Retarder fluids
65276	Dash Display





**COMUNICACIONES**  
SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



**Km 12+000 Carretera Estatal 431 “El Colorado Galindo”**  
Parque Tecnológico San Fandila, Mpio. Pedro Escobedo,  
Querétaro, México. C.P. 76703  
Tel: +52 (442) 216 97 77 ext. 2610  
Fax: +52 (442) 216 9671

[publicaciones@imt.mx](mailto:publicaciones@imt.mx)

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