

Estudio de la Red CAN y sus Diversas Evoluciones en Vehículos Convencionales e Híbridos, con el Propósito de Realizar un Diagnóstico Acertado Tomando Como Base sus Protocolos de Comunicación.

EFRÉN ESTEBAN FERNANDEZ PALOMEQUE
efernandez@cise.com

Resumen—En el siguiente trabajo se presenta un estudio detallado de una red CAN Controlled Area Network, en un vehículo convencional y otro híbrido analizando sus diferentes evoluciones y tipos de variantes que se presentan a lo largo de la evolución del Network en el área automotriz, complementando con el análisis de sus protocolos de comunicación, con el propósito de optimizar el proceso de diagnóstico ante una falla en el automóvil.

Palabras Claves— CAN HIGH, CAN LOW, FLEXRAY, TTCAN.

I. NOMENCLATURA

CAN: Controlled Area Network.

CAN H: CAN HIGH.

CAN L: CAN LOW.

II. INTRODUCCIÓN

En los últimos años a existido un significativo incremento de la electrónica de los sistemas de automoción y la tendencia es creciente, lo que permite a los fabricantes introducir avances en la seguridad, fiabilidad y confort.

Las nuevas aplicaciones en este sector demandan Ecus o módulos de control más complejas y con necesidades de comunicación entre estos. Debido a este avance los protocolos de comunicación existentes no cumplen con los requerimientos de tasas de transmisión, varios son los ejemplos de estas innovaciones tecnológicas como son el CAN de alta velocidad, el X-by-wire, Flex Ray, Most.

El bus CAN ha sido y es un gran éxito tanto a nivel de automoción como a nivel de industria. Cientos de millones de ECUs de diferentes sectores usan el protocolo, lo que lo ha hecho seguro, estable, estudiado y debido al gran volumen de producción, que abarata costos. [1].

Es cierto que hay otras soluciones de protocolos más económicos, pero es indudable que el CAN hoy en día es la mejor solución en cuanto a velocidad y seguridad. [1].

CAN utiliza un sistema de prioridad de envío en el cual, el nodo con la ID más baja tiene más prioridad para enviar un mensaje. Si en un determinado instante 2 o 3 nodos compiten por el bus, ganará el control el nodo con la ID más baja. Una vez éste

haya transmitido su información al bus, entonces los otros nodos podrán enviar [1].

Si hablamos de una evolución de CAN sin duda laguna debemos mencionar al Flex Ray; este usa una partición del tiempo entre los diferentes nodos. Es decir, si el ciclo dura 4 segundos y hay 4 nodos, cada nodo disfrutará para sí solo de un segundo para transmitir cada 4 segundos. [1].

La principal diferencia a nivel lógico entre los dos protocolos es que CAN está orientado a eventos (Event triggered) y Flexray está basado en un ciclo determinístico TDMA (Time Division Multiple Access). Se le suele llamar un protocolo Time Triggered [1].

La principal ventaja de CAN es que es un sistema más simple y el cual al ser orientado a eventos reacciona rápidamente a un evento externo. Es decir, cuando un nodo quiere transmitir algo, al momento puede hacerlo siempre y cuando no compita con otro con una ID más baja. Así pues, en general con una carga de bus no excesivamente elevada, el sistema usado por CAN reacciona más rápidamente a los eventos externos. [1].

Otro tipo de evolución es el TTCAN este es una aproximación de CAN a un protocolo Time Triggered. Utiliza el estándar CAN en su capa física y lógica pero incorpora una capa de más alto nivel orientada a Time Triggered. Está diseñado para ofrecer una comunicación determinística y aprovecha el ancho de banda de CAN eficientemente. Algunos puntos fuertes de TTCAN son el mejor uso de la memoria ya que no todos los nodos han de saber el significado del resto de mensajes que no van hacia ellos y el uso de la eficiente detección de errores de CAN. [1].

En este trabajo se propone realizar un estudio de estos protocolos de comunicación en dos automóviles, uno convencional y otro híbrido en el ámbito de analizar dichos eventos internos cuando se produce la comunicación entre módulos y analizarlos con el propósito de realizar un diagnóstico adecuado de este tipo de redes presentes en automóviles modernos.

III. DESARROLLO DEL PROYECTO.

El primer paso consiste en seleccionar los autos en los que vamos a trabajar, para ello nos basamos en las estadísticas de ventas en nuestro país.

Una vez selecciona las marcas se va a desarrollar un estudio

completo de la red interna de cada automotor y analizando cada uno de los protocolos que maneja.

El estudio de la red consiste en el análisis físico de los diagramas de Computers Data Lines al igual que el estudio sobre el automóvil en donde con la ayuda de equipo especial podremos verificar el funcionamiento de los protocolos de comunicación.

Como parte final del proyecto, se procederá a generar fallos controlados por el autor para analizar el comportamiento de los protocolos en cada uno de los autos, esto con el propósito de recabar información y dejar sentada en el presente, para diagnósticos a fallas que se puedan presentar en este tipo de redes.

En la figura 1 se observa un diagrama con todas las etapas de trabajo.



Figura 1. Etapas y desarrollo del proyecto.

El diagrama completo de todo el sistema un sistema CAN, se muestra en la Figura 2.

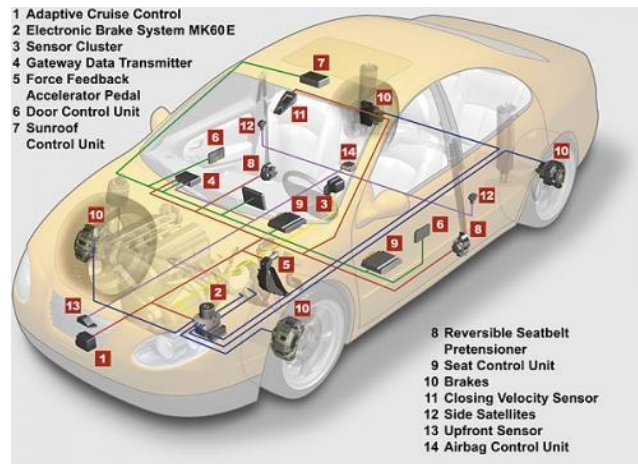


Figura. 2. Sistema completo de una Red CAN.

IV. Análisis de la Red CAN

En los Estados Unidos a partir de la año 2008 la Agencia de Protección del Medio Ambiente ordenó el uso de CAN para el diagnóstico a bordo de todos los automóviles y camiones ligeros, esto contribuyó a que varias empresas incrementen sus presupuestos para desarrollar dispositivos más pequeños, veloces y fiables en base a este protocolo de comunicación Figura.3

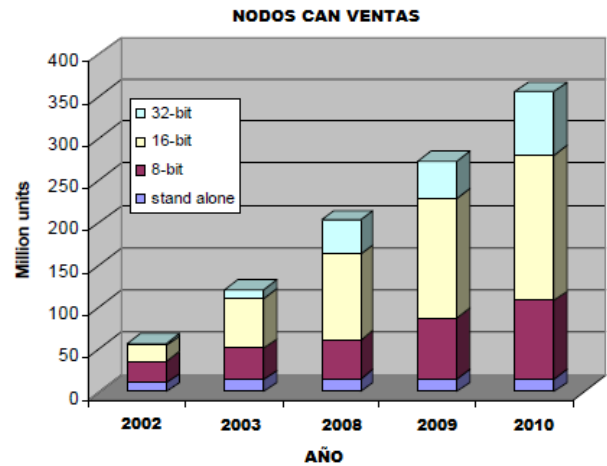


Figura.3. Ventas de Nodos CAN

En aplicaciones de automoción, el protocolo CAN se utiliza únicamente en redes de alta velocidad, 500 Kbps para la comunicación entre el módulo PCM o modulo de control del motor con el módulo de transmisión, y también se lo suele utilizar en redes de baja velocidad 100 o 125 kbps que están interconectadas entre el modulo de carrocería y confort por ejemplo módulo de control de puertas, modulo de seguridad, temperatura, etc Figura 4.

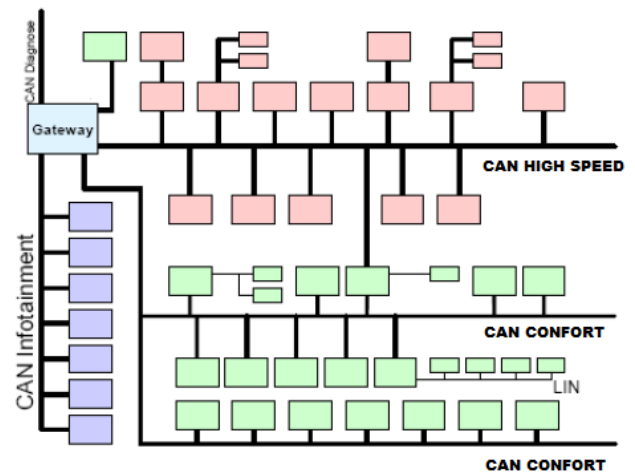


Figura 4 Estructura de una Red CAN.

La Red CAN o área de red controlada es un protocolo de comunicación que se aplica en la industria automotriz, CAN es un sistema multi máster donde cada ECU tiene los mismos derechos para acceder al bus, todo y que el mensaje enviado será el que tenga más prioridad según su ID. Así pues, podemos clasificar a CAN como un bus orientado a eventos.

Hay dos versiones de CAN que difieren en la longitud de su identificador: el estándar CAN o CAN2.0A usa un identificador de 11 bits mientras que el Extended CAN o CAN2.0B usa un identificador de 29 bits. [2] Figura 5.

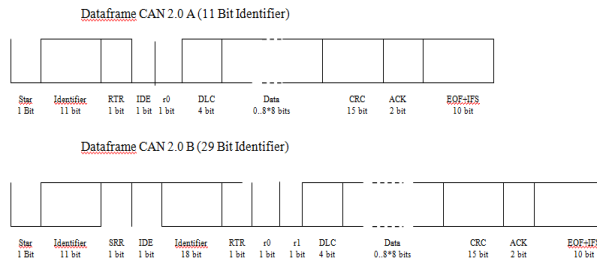


Figura. 5. Trama de Datos CAN

Los mensajes transmitidos desde cualquier nodo en una red CAN no contienen la dirección del nodo emisor ni la del nodo receptor. En vez de esto, los mensajes contienen una etiqueta identificativa, única en toda la red, que realiza esa función. Estos identificadores determinan la prioridad del mensaje. El mensaje de mayor prioridad gana el acceso al bus, mientras que los mensajes de menor prioridad se retransmitirán automáticamente en los siguientes ciclos de bus [2].

Las tipos de tramas que se utilizan son:

Trama de datos: la que un nodo utiliza normalmente para poner información en el bus.

Trama de interrogación remota (en lo que sigue se denominará como trama remota ("remote frame"): puede ser utilizada por un nodo para solicitar la transmisión de una trama de datos con la información asociada a un identificador dado. El nodo que disponga de la información definida por el identificador la transmitirá en una trama de datos [2].

Tramas de error: usadas para señalar al resto de nodos la detección de un error, invalidando el mensaje erróneo normalmente.

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

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

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

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

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

Control: El campo de control está formado por dos bits reservados para uso futuro y cuatro bits adicionales que indican el número de bytes de datos. En realidad el primero de estos bits (IDE) se utiliza para indicar si la trama es de CAN Estándar (IDE

dominante) o Extendido (IDE recesivo). El segundo bit (RB0) es siempre recesivo. Los cuatro bits de código de longitud (DLC) indican en binario el número de bytes de datos en el mensaje (0 a 8)

Datos: Es un campo formado por 0 a 8 bytes de datos, es decir 0 a 64 bits en saltos de 8. Cada byte se transmite con bit más significativo primero [2].

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

Campo de reconocimiento (ACK): es un campo de dos bits que el transmisor pone como recesivos. El primero de estos bits se sobrescribe por un bit dominante de reconocimiento transmitido por los nodos que han recibido el mensaje correctamente. El bit de ACK queda así insertado entre dos bits dominantes de delimitación.[2]

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

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

Este sistema emplea dos cables en los cuales viajan dos señales exactamente iguales en amplitud y frecuencia pero completamente inversas en voltaje los módulos con estos dos pulsos identifica el mensaje. Figura 6.

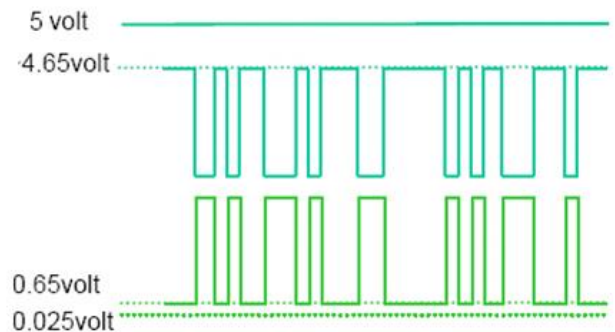


Figura 6. Protocolo de Comunicación CAN.

Estos protocolos reciben sus nombres específicos CAN High y CAN Low.

La SAE estableció que el protocolo CAN High y CAN Low se vea reflejado en el conector de diagnóstico o DLC de los automóviles entre los terminales 6 y 14 respectivamente, esta norma esta en vigencia desde el 2008. Figura 7.

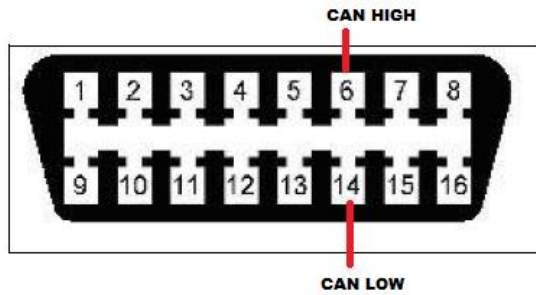


Figura 7. Conector de Diagnóstico o DLC.

V. TIPOS DE REDES A ESTUDIAR.

En este apartado consideramos dos tipos de redes que se van a emplear para su estudio. La primera que consiste en una red sencilla que se encuentra en un vehículo convencional de gama media y la segunda que consiste en una red más sofisticada y de alta velocidad que se encuentra presente en un vehículo híbrido de última generación.

El primer paso consiste en estudiar e investigar a profundidad los circuitos internos de la red mediante su diagrama o esquema eléctrico, para ello se cuenta con los manuales de servicio digitales de cada uno de los vehículos a estudiar.

El tipo de red que se presenta en la figura 8 es una red con protocolo CAN convencional con una configuración en paralelo, esta red se compone de 9 módulos de control entre los más relevantes tenemos el módulo de control del motor, el módulo de carrocería, ABS, Airbag y Dirección electrónica,

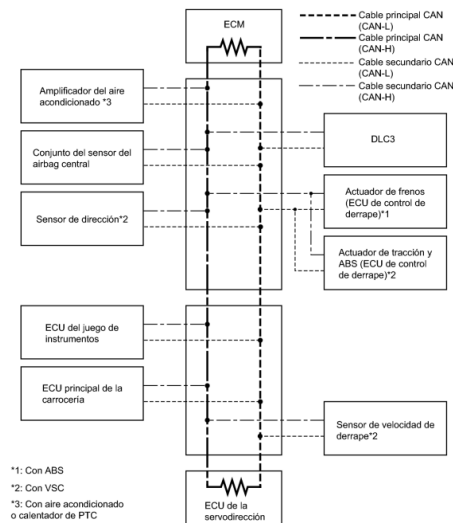


Fig. 8. Red CAN de vehículo convencional.

La segunda Red que se observa en la figura 9 también es una Red con protocolo CAN pero de alta velocidad, posee una configuración paralelo pero ahora se presenta varios módulos de control, 12 en total y un módulo de control en especial que es la Ecu del sistema híbrido que posteriormente vamos a poder observar la velocidad de transmisión es elevada comparada con la anterior, además existe una red del tipo LIN figura 10.

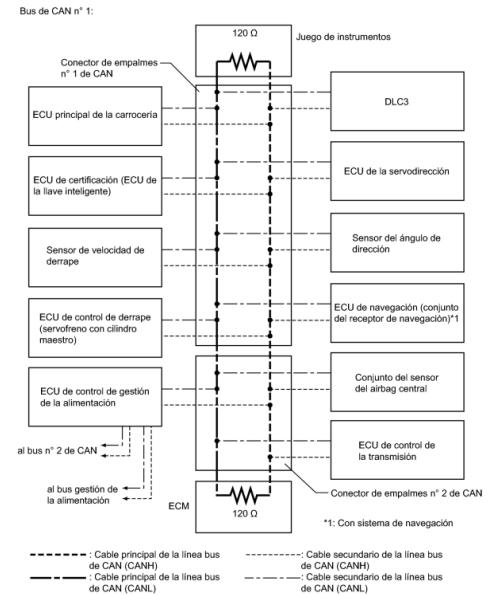


Figura 8 Red CAN high speed de vehículo Híbrido.

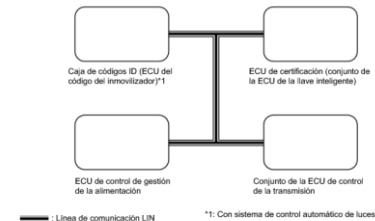


Figura 9. Red LIN vehículo híbrido.

Al realizar un estudio más detallado de cada uno de los circuitos mostrados anteriormente observamos la presencia de unas resistencias al final del bus principal de datos CAN, estas resistencias se les conoce como resistencias de corte o Cut Off y se utilizan para evitar rebotes de la información, estas poseen un valor de 120 Ω .

La conexión que utilizan los diversos módulos en las dos configuraciones son en paralelo, el diagrama toma como punto principal al conjunto de cables situado entre los dos circuitos terminales del bus (línea de comunicación). Éste es el bus principal en el sistema de comunicación CAN. El cable secundario es un conjunto de cables que se separa del cable principal y va hacia una ECU. Además poseen un circuito terminal que consiste en un circuito que transforma la corriente de comunicación procedente del sistema de comunicaciones CAN a la tensión del bus. Consta de un resistor y un condensador. Un bus necesita dos circuitos terminales.

Analizando el circuito también nos encontramos con conectores de empalme CAN que consiste en un conector diseñado para la comunicación CAN, situados en varios puntos del automóvil

La diferencia es notoria de un sistema con respecto al otro con la cantidad de módulos que manejan y por ende las velocidades

de transmisión deberán aumentar y con respecto a la Red LIN buscaremos la manera de interactuar con los módulos que están presentes para poder observar su comportamiento, todo esto dentro del estudio físico de las redes.

VI. ANÁLISIS FÍSICO DE LA RED DE GAMA MEDIA.

En esta etapa se realiza una estudio más detallado de las redes dentro de los automóviles, para ello vamos a contar con la ayuda de equipos sofisticados de diagnóstico en la parte de redes, como son osciloscopios automotrices y breakout box o probadores de network figura 10, con el propósito de analizar el bus de datos CAN en su estado alto y bajo, para poder determinar la tasa de transmisión de datos y su problemas en las señales el momento de alguna falla.



Figura 10. Equipos de Diagnostico.

Como primer punto se realiza un estudio individual de cada red, para ello contamos con un vehículo de gama media en donde se realiza un diagrama para la ubicación de sus componentes y la ubicación del bus de datos CAN figura 11.

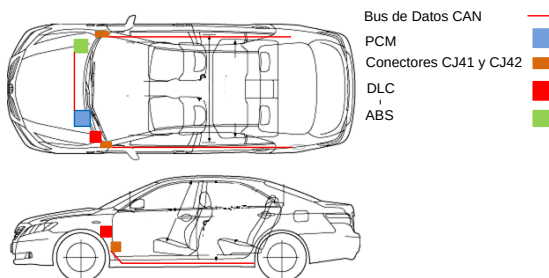


Figura 11. Bus de Datos CAN vehículo media gama

El momento de verificar la red iniciamos por encontrar la ubicación del conector de diagnóstico o DLC, desde este punto se inicia el estudio de la Red considerando que a este conector llegan todos los protocolos de comunicación que utiliza el vehículo y por ende el bus de datos CAN High y CAN Low por los pines 6 y 14 respectivamente figura 12.

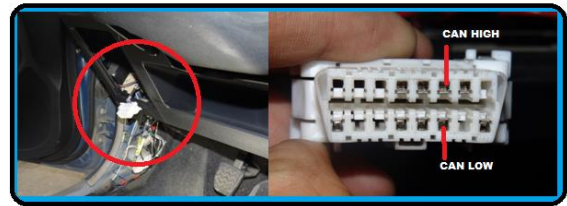


Figura 12. Ubicación del DLC

Un punto importante en este modelo de automóvil se presenta dos conectores adicionales CJ41 y CJ42, que sirve para facilitar el diagnóstico y se encuentran ubicados al costado izquierdo y derecho del automóvil. Estos conectores poseen también todos los protocolos de comunicación figura 13.

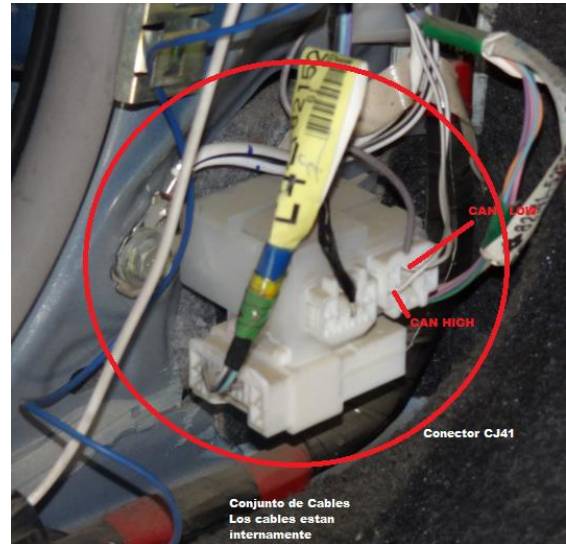


Figura 13. Conector CJ41

Luego de ubicar estos conectores se procede a realizar una medición de la red CAN para ello utilizamos un osciloscopio de 2 canales el cual nos permitirá observar el comportamiento del protocolo CAN; primero instalamos las puntas de prueba en cada canal para luego colocar sobre en CAN High, CAN Low y la masa del DLC respectivamente figura 14.

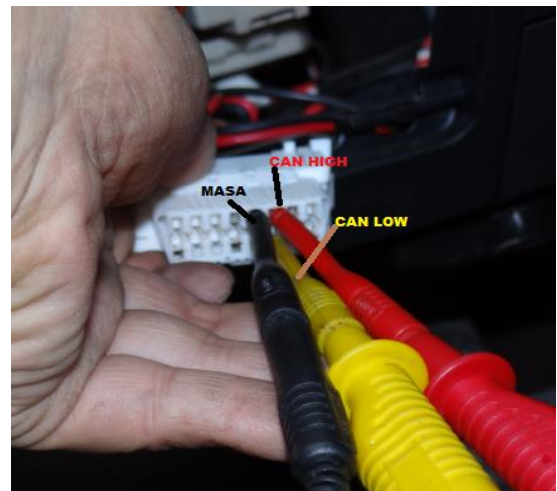


Figura 14. Conexión del Osciloscopio al DLC.

El siguiente paso consiste en calibrar el osciloscopio para poder tener una visibilidad adecuada y de esta manera comenzar

su análisis del protocolo CAN, al observar la gráfica presentada se nota que el protocolo de CAN Low es un espejo del High pero con la particularidad que es invertido figura 15.

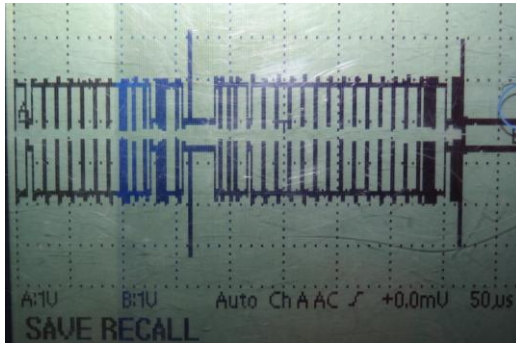


Figura 15. Protocolos CAN High y CAN Low

Cada uno de estas tramas o pulsaciones llevan información, en este instante por ejemplo al mover el volante se observa que la señal cambia en su frecuencia y se vuelve más rápida, esto debido a que el auto incorpora EPS o dirección electrónica y al realizar esta maniobra envía información entre varios módulos para que realice la asistencia a la dirección figura 16.

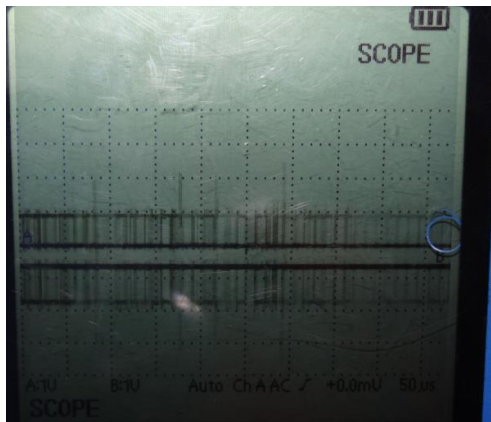


Figura 16. Cambio de la Tasa de Transmisión de Datos

Ampliando la señal en el tiempo podemos observarla con más detalle de tal manera que realizamos el cálculo de la velocidad de transmisión de datos figura 17.

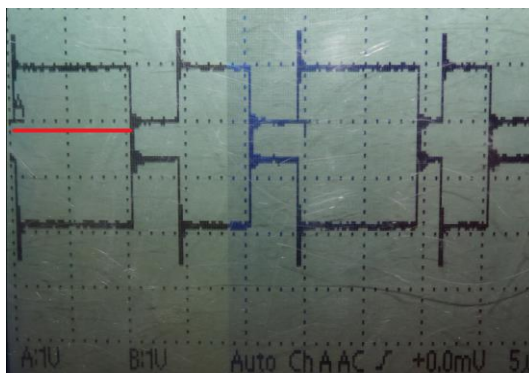


Figura 17. Señales ampliadas en el tiempo.

Para el cálculo de la velocidad de transmisión se implementa las ecuaciones que se muestran a continuación

$$f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

$$V_t = N^O \text{ Bits} * f \quad (2)$$

La frecuencia calculamos con respecto al periodo que para este caso es de 10 uS que se obtiene del osciloscopio.

$$f = \frac{1}{10\mu S} = 1\text{Mhz} \quad (3)$$

$$V_t = 8\text{bits} * 1\text{Mhz} = 8\text{Mbps} \quad (4)$$

Podemos manifestar que la velocidad de transmisión en esta red esta por el orden de los 8 megabits por segundo.

VII. ANÁLISIS DE LA RED DE ALTA GAMA.

Para este análisis utilizamos un automóvil híbrido que posee una gran cantidad de módulos de control, esto debido a la gran cantidad de sistemas que poseen y que continuamente están en comunicación, algunos en altas velocidades y otros en bajas velocidades.

Por la complejidad de esta Red la hemos dividido en tres secciones para poder interpretarla y observar los diferentes módulos que están presentes en este automóvil. Figuras 18, 19 y 20 respectivamente.



Fig.18 Esquema de Red presente en el automóvil de alta gama primera sección.

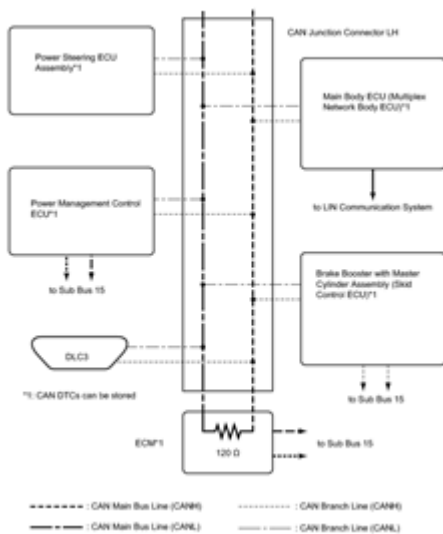


Fig.19 Esquema de Red presente en el automóvil de alta gama segunda sección.

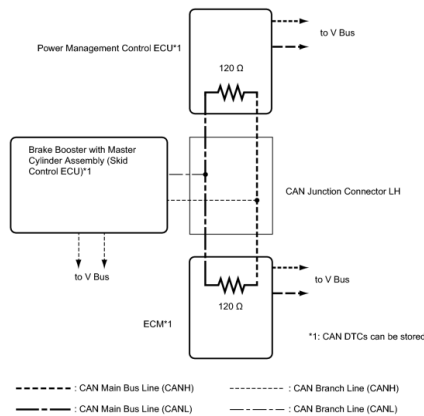


Fig.20 Esquema de Red presente en el automóvil de alta gama tercera sección.

VII. ANÁLISIS FÍSICO DE LA RED DE ALTA GAMA.

Para este análisis utilizamos el diagrama y los mismos equipos nombrados en el punto anterior.

Analizando el esquema de la Red tomamos como punto de partida el conector DLC, en donde llegan todos los protocolos que intervienen dentro de este sistema de estudio figura 21.



Fig.21 Ubicación de Conector de Diagnóstico vehículo híbrido.

Verificando la descripción de pines del DLC o conector de diagnóstico, verificamos que posee una red CAN, en virtud que utiliza el 6 y 14 para la interconexión de los módulos figura 22, esto lo podemos verificar analizando el diagramas de computer data lines del modelo del auto en estudio.

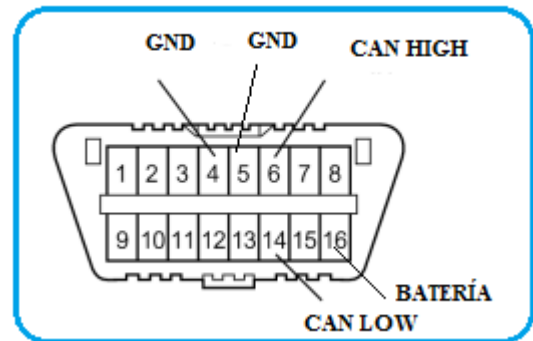


Figura 22. Esquema del Conector Diagnóstico Vehículo Híbrido

Sobre el conector de diagnóstico procedemos a verificar los protocolos CAN, tanto en alto como en bajo, utilizando un osciloscopio de mayor frecuencia, esto debido a que la velocidad de transmisión en este auto es mayor por la cantidad de módulos que incorpora figura 23.

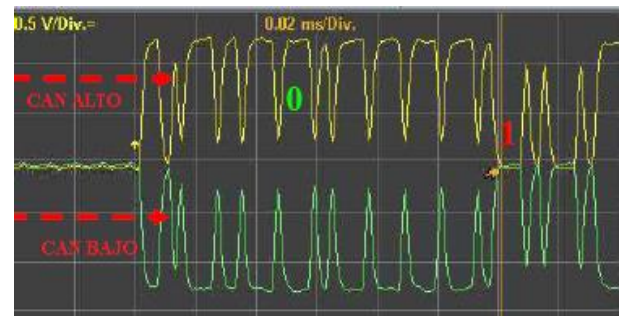


Fig.23 Protocolos de CAN High y Low de vehículo Híbrido.

Para el cálculo de la velocidad de transmisión se implementa las ecuaciones que se utilizaron anteriormente y utilizando los datos suministrados por el osciloscopio que es de alta prestación figura 24.



Figura 24. Protocolos y datos de medición obtenidos en el osciloscopio.

Para el cálculo de la velocidad de transmisión utilizamos las fórmulas anteriormente planteadas.

$$f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

$$V_t = N^O \text{ Bits} * f \quad (2)$$

La frecuencia calculamos con respecto al periodo, que para este caso es de 121 uS que se obtiene del osciloscopio.

$$f = \frac{1}{121\mu S} = 1\text{Mhz} \quad (3)$$

$$V_t = 8\text{bits} * 1\text{Mhz} = 8\text{Mbps} \quad (4)$$

IX. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Cuando se producen fallas o pérdidas en la comunicación al momento de analizar la misma se observan que normalmente son problemas en el cableado o cortocircuitos dentro de los módulos de control que se encuentran dentro de la RED. Para ello es importante considerar todos los síntomas que presenta el automóvil tal como luces de sistemas que se encienden en el tablero, sistemas de luces encendidos y códigos de fallas o DTC precedidos por la letra U. Figura 27.

Pero sin lugar a dudas el mejor procedimiento para resolver rápidamente es observar el comportamiento de la RED mediante un graficador u osciloscopio en donde se nota claramente cuando existe pérdida de comunicación por algunos de los canales CAN figura 25.

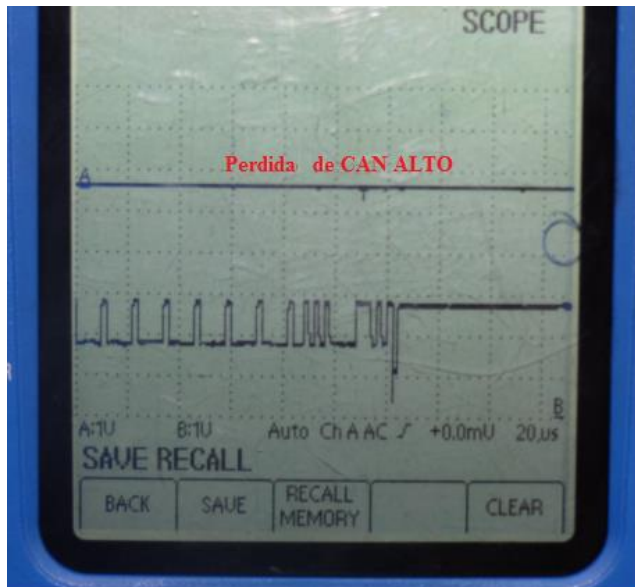


Figura 25. Diagnóstico de RED CAN.

De igual manera se observan ciertos procesos incoherentes sobre el clúster del automóvil o panel de instrumentos en donde todas las luces de check de varios sistemas permanecen encendidas, sin que dichos sistemas presenten alguna falla en común, figura 26.



Figura 26. Sintoma de Fallo en RED Luz testigo de sistemas encendidos en el Panel de Instrumentos.

De igual manera se puede comprobar con la ayuda de un scanner automotriz el inconveniente que se presenta y se observará la presencia de un Código de Falle que inicia con la letra U, y esto significa que el problema se presentó en el network del automóvil que se estudia, como se observa en la Figura 20.

Código de diagnóstico:	
Código	Descripción
U0073	Bus de comunicación del módulo de control apagado

Figura 27. Sintoma de Fallo en RED Códigos o DTC precedidos por la letra U.

En el automóvil híbrido cuando se presentan fallas en la parte de la red, sean estos cortocircuitos o problemas en los cables que transportan la información, el comportamiento del mismo es muy notorio, llegando incluso a apagar todos los sistemas, y pérdida de comunicación entre todo módulos.

Al observar el comportamiento de la red en el instante de la falla, con la ayuda de un osciloscopio se puede observar la pérdida del protocolo de comunicación, figura 28.

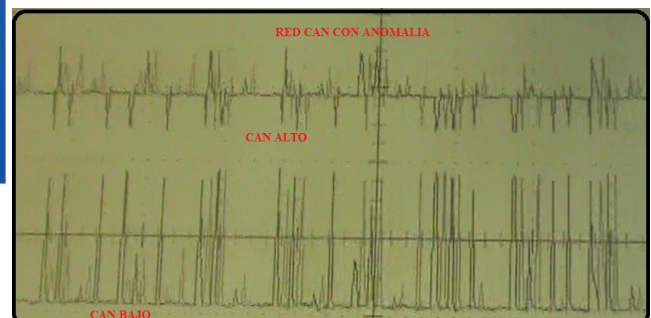


Fig 28. Anomalia red CAN vehículo híbrido.

De igual manera la falla se ve reflejada en panel de instrumentos con el accionamiento de gran cantidad de luces indicadoras figura 29.



Figura 29. Síntomas de fallo en RED reflejados en el clúster del automóvil.

X. CONCLUSIONES.

Todo el trabajo desarrollado, se realizó en el laboratorio de autotróica de la Escuela de Mecánica Automotriz, utilizando diferentes equipos que posee el mismo.

Con el presente estudio, se pudo determinar la aplicación de una red bajo un protocolo CAN y su tasa de transmisión de datos en dos vehículos con dos tipos de topologías de red, y el comportamiento de estas antes fallas generadas en el multiplexado de la red.

Los resultados obtenidos son satisfactorios debido a que nos permiten analizar el comportamiento que experimentan estas topologías de red al someterlas a fallos, al observar la pérdida del protocolo CAN se experimentan cambios notorios en el comportamiento del automóvil, estos acontecimiento nos permitirán a futuro poder realizar un diagnóstico acertado sobre este tipo de inconvenientes que son muy frecuentes en la actualidad.

Con estos resultados se pretende guiar a los estudiantes de varias carreras afines, con el propósito de incentivar al estudio de este tipo de modernas innovaciones tecnológicas dentro de un automóvil, con el propósito de a futuro formar verdaderos profesionales dentro del área de automoción.

XI. REFERENCIAS.

Reportes Técnicos:

[1] Protocolos de Comunicación en Automoción Audi Service 206

Libros:

[2] Mazo Manuel, Espinoza Felipe, AbdelBaset AwawdehDiagnosis Electrónica del Automóvil Fundación FITSA 2010 ISBN: 84-609- 8917-8, P 345.

[3] Mohan/Undeland/Robbins, Power Electronics Converts Aplications and Desing, Jonh Wiley and Sons, 1989.

Papers:

Christopher A. Lupini Delphi Corporation In-Vehicle Networking Technology for 2010 and Beyond SAE International

Controller Area Network (CAN) Schedulability Analysis: Refuted, Revisited and Revised, Robert I. Davis and Alan Burns Real-Time Systems Research Group, Department of Computer Science, University of York, YO10 5DD, York (UK) 2006.

Experimental Security Analysis of a Modern Automobile Karl Koscher, Alexei Czeskis, Franziska Roesner, Shwetak Patel, and Tadayoshi Kohno Department of Computer Science and Engineering University of Washington 2008.

CAN for energy efficiency in cars.

Jan Polfliet, ON Semiconductor, Wim Van de Maele, ON Semiconductor, Roman Buzas, ON Semiconductor, R. Apter , M. Prähler Regeneration of Power in Hybrid Vehicles.

K. Sasaki, "Toyota's newly developed electric gasoline engine hybrid powertrain", EVS 14, 1998.

K. Tindell, A. Burns. Guaranteeing message latencies on controller area network (CAN). Proceedings of the 1st International CAN Conference, pp. 2-11, September 1994.