



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA MULTIPLEXADO DE UN**  
**VEHÍCULO AUDI Q5.**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORA:**

**JENNY ALEXANDRA LÓPEZ DIGUAY**

Riobamba - Ecuador

2021



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA MULTIPLEXADO DE UN  
VEHÍCULO AUDI Q5.**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto de investigativo

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORA:** JENNY ALEXANDRA LÓPEZDIGUAY

**DIRECTOR:** Ing. JUAN CARLOS CASTELO VALDIVIESO

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Jenny Alexandra López Diguay

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo Jenny Alexandra López Diguay, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 9 de septiembre 2021



.....  
Jenny Alexandra López Diguay

1722861828

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de investigación, **ESTUDIO Y ANALISIS DEL SISTEMA MULTIPLEXADO DE UN VEHICULO AUDI Q5**, realizado por la señorita: **JENNY ALEXANDRA LÓPEZ DIGUAY**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. José Francisco Pérez Fiallos <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>JOSE FRANCISCO PEREZ FIALLOS</b>	2021-09-09
Ing. Juan Carlos Castelo Valdivieso <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>JUAN CARLO CASTELO VALDIVIESO</b>	2021-09-09
Ing. Javier José Gavilanes Carrión <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	<b>JAVIER JOSE</b> Firmado <b>GAVILANES</b> digitalmente por GAVILANES CARRION JAVIER JOSE <b>CARRION</b> Fecha: 2021.11.22 09:40:31-05'00'	2021-09-09

## **DEDICATORIA**

Dedico a mi madre, quien partió de este mundo antes de ver culminado este proyecto; por ser el pilar fundamental en mi formación académica brindándome su amor y consejos, siendo la primera que me impulsó para que pudiera cumplir mis sueños; sentó en mí las bases de responsabilidad, fortaleza y deseo de superación, siendo ella mi motivación más grande para concluir con éxito mi vida universitaria.

Jenny

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia en especial a mis padres que me han enseñado que con esfuerzo y perseverancia se pueden lograr las metas deseadas y a mis hermanos que de una u otra manera han sido parte de este logro.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por darme la oportunidad de ser parte de la institución y a los profesores por compartir sus conocimientos durante mi formación académica.

Al Ing. Juan Carlos Castelo, por toda la colaboración brindada durante el desarrollo de mi proyecto.

Jenny

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....	4
1.1. Sistema Multiplexado.....	4
1.2. Redes de Comunicación.....	7
1.3. Topología de la Red de Comunicación de Datos .....	7
1.3.1. Configuración punto a punto.....	8
1.3.2. Configuración anillo.....	8
1.3.3. Configuración estrella.....	9
1.3.4. Configuración lineal.....	9
1.3.5. Configuración Daisy Chain.....	9
1.4. Arquitectura de la Red de Comunicación.....	10
1.4.1. Maestro-esclavo.....	10
1.4.2. Punto a punto .....	11
1.4.3. Multimaestro.....	11
1.5. Estado del Arte.....	12
<b>CAPÍTULO II</b>	
2. MARCO METODOLÓGICO.....	16
2.1. Vehículo de prueba .....	16
2.2. Procedimiento.....	19
2.3. Análisis de las redes de comunicación disponibles en el vehículo AUDI Q5 2012 .....	20
<b>CAPÍTULO III</b>	
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	34
3.1. Valores nominales de redes multiplexadas .....	34
3.1.1. Protocolo LIN BUS.....	35
3.1.2. Protocolo CAN BUS.....	37
3.1.2.1. BUS CAN del tren motriz.....	37



3.1.2.2	<i>BUS CAN del tren de rodaje</i> .....	38
3.1.2.3	<i>CAN BUS DE CONFORT</i> .....	39
3.1.2.4	<i>CAN BUS extendido</i> .....	40
3.1.3	<i>INFOTAINMENT</i> .....	41
3.2.	<b>Análisis de la codificación de la trama del sistema multiplexado</b> .....	43
3.2.1	<i>Análisis de la decodificación CAN BUS</i> .....	43
3.2.2	<i>Decodificación LIN BUS</i> .....	45
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	47
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	48
	<b>GLOSARIO</b>	
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Tipo de Vehículo .....	17
<b>Tabla 2-2:</b>	Ficha Técnica Audi Q5 2012.....	18
<b>Tabla 3-2:</b>	Dimensiones del vehículo Audi Q5 2012.....	19
<b>Tabla 4-2:</b>	Comprobación de correcto funcionamiento del CAN-bus.....	24
<b>Tabla 1-3:</b>	Valores de la velocidad de transmisión de datos de la red CAN.....	34
<b>Tabla 2-3:</b>	Valores de la velocidad de transmisión de datos de la red LIN BUS .....	35
<b>Tabla 3-3:</b>	Decodificación de la red de comunicación CAN BUS .....	44
<b>Tabla 4-3:</b>	Decodificación de la red de comunicación LIN BUS.....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Sistema Multiplexado .....	4
<b>Figura 2-1:</b>	Diagrama de Conexión Bus Can.....	6
<b>Figura 3-1:</b>	Topología de Red.....	8
<b>Figura 4-1:</b>	Configuración Daisy Chain .....	10
<b>Figura 5-1:</b>	Maestro Esclavo .....	10
<b>Figura 6-1:</b>	Red Punto a Punto .....	11
<b>Figura 7-1:</b>	Multimaestro.....	12
<b>Figura 1-2:</b>	Vehículo Audi Q5.....	17
<b>Figura 2-2:</b>	Identificación de los pines de la red CAN .....	20
<b>Figura 3-2:</b>	Trama de datos estándar CAN.....	22
<b>Figura 4-2:</b>	Niveles de bus en modo baja velocidad.....	22
<b>Figura 5-2:</b>	Configuración del bus en baja velocidad.....	23
<b>Figura 6-2:</b>	Niveles del bus en alta velocidad.....	24
<b>Figura 7-2:</b>	Configuración de bus en alta velocidad.....	24
<b>Figura 8-2:</b>	Trama de datos estándar LIN.....	26
<b>Figura 9-2:</b>	Niveles de tensión en el bus de LIN .....	26
<b>Figura 10-2:</b>	Diagrama de conexión por medio de la red CAN.....	27
<b>Figura 11-2:</b>	Interfaz de comunicación CAN en AUDI Q5 2012.....	28
<b>Figura 12-2:</b>	Elementos de un nodo en bus MOST .....	29
<b>Figura 13-2:</b>	Constitución de un cable de fibra óptica POF .....	29
<b>Figura 14-2:</b>	Red de infoentretenimiento.....	30
<b>Figura 15-2:</b>	Módulos electrónicos delanteros .....	31
<b>Figura 16-2:</b>	Módulos electrónicos posteriores .....	32
<b>Figura 17-2:</b>	Cajas de fusibles, paneles de relés, y conectores del nodo CAN y unidades de .....	33
<b>Figura 1-3:</b>	Señal de la red de comunicación del módulo de control del elevavidrios .....	35
<b>Figura 2-3:</b>	Señal de Unidad de control de retrovisores .....	36

<b>Figura 3-3:</b>	Sistema de comunicación de la unidad de control del motor .....	38
<b>Figura 4-3:</b>	Línea de comunicación de la unidad de control del ABS.....	39
<b>Figura 5-3:</b>	Línea de comunicación de la unidad de control de la puerta del conductor .....	40
<b>Figura 6-3:</b>	Línea de comunicación CAN BUS extendido .....	41
<b>Figura 7-3:</b>	Velocidades de transmisión de datos según el fabricante.....	42
<b>Figura 8-3:</b>	Topología sistema multiplexado AUDI Q5 .....	43
<b>Figura 9-3:</b>	Decodificación de la trama CAN BUS .....	44
<b>Figura 10-3:</b>	Decodificación de la trama LIN BUS.....	45

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b>	Niveles de bus en modo baja velocidad.....	22
<b>Gráfico 2-2:</b>	Niveles del bus en alta velocidad.....	23
<b>Gráfico 3-2:</b>	Niveles de tensión en el bus de LIN .....	26
<b>Gráfico 1-3:</b>	Señal de la red de comunicación del módulo de control del eleva- vidrios .....	35
<b>Gráfico 2-3:</b>	Señal de Unidad de control de retrovisores.....	36
<b>Gráfico 3-3:</b>	Sistema de comunicación de la unidad de control del motor.....	38
<b>Gráfico 4-3:</b>	Línea de comunicación de la unidad de control del ABS .....	39
<b>Gráfico 5-3:</b>	Línea de comunicación de la unidad de control de la puerta del conductor ...	40
<b>Gráfico 6-3:</b>	Línea de comunicación CAN BUS extendido .....	41
<b>Gráfico 7-3:</b>	Decodificación de la trama CAN BUS .....	44
<b>Gráfico 8-3:</b>	Decodificación de la trama LIN BUS .....	45

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO A</b>	MÓDULO ABS
<b>ANEXO B</b>	CONECTOR MÓDULO ABS
<b>ANEXO C</b>	CONECTOR MÓDULO DE LA PUERTA DEL CONDUCTOR
<b>ANEXO D</b>	UNIDAD DE CONTROL DEL PAQUETE DE SONIDO DIGITAL
<b>ANEXO E</b>	UNIDAD DE CONTROL DEL MOTOR
<b>ANEXO F</b>	UNIDAD DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE CONVENIENCIA
<b>ANEXO G</b>	OBTENCIÓN DE LAS SEÑALES DE LA UNIDAD DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE CONVENIENCIA
<b>ANEXO H</b>	DECODIFICACIÓN DE LA TRAMA DE LA UNIDAD DE CONTROL DEL MOTOR
<b>ANEXO I</b>	EQUIPO PARA LA DECODIFICACIÓN DE LAS TRAMAS DE COMUNICACIÓN
<b>ANEXO J</b>	EQUIPO PARA LA DECODIFICACIÓN DE LAS TRAMAS DE COMUNICACIÓN

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como finalidad analizar la topología del sistema multiplexado y la velocidad de transmisión de datos de cada una de las redes que se encuentran presentes en un vehículo Audi Q5 2012. Para lo cual se expuso en el estudio conceptos, teorías y un análisis bibliográfico para comprender el sistema y las redes de comunicación como tal, además se llevaron a cabo comprobaciones del sistema multiplexado donde se analizó la medición de las tensiones y velocidad de la red y se comparó los parámetros obtenidos frente a los establecidos en el manual del fabricante, en donde se utilizaron equipos de diagnóstico como un scanner automotriz, osciloscopio automotriz y multímetro. Entre los principales resultados se encontró que el auto se compone por combinación de redes CAN y LIN, los módulos de frenos ABS y control del motor funcionan con una velocidad de transmisión de datos de 500 kbit/s denominándose CAN de alta velocidad, mientras que las unidades de control conectadas a una red CAN de baja velocidad lo hacen en 100 kbit/s y los módulos que utiliza una red LIN con velocidad de transmisión de datos baja de 17 kbit/s. Se recomienda tener en cuenta el manual del vehículo a analizar pues es relevante para obtener datos objetivos y validados, además para obtención de datos reales se precisa la utilización de equipos de diagnóstico adecuado y en perfecto estado.

**Palabras clave:** <MECÁNICA> <SISTEMA MULTIPLEXADO> <RED DE ÁREA DE CAMPUS (CAN)> <SCANNER AUTOMOTRIZ> <RED LOCAL DE INTERCONEXIÓN (LIN)>.



2074-DBRA-UPT-2021

2021-11-09

## SUMMARY

This degree work aims to analyze the topology of the multiplexed system and the data transmission speed of each of the networks present in an Audi Q5 2012 vehicle. For what concepts were theories presented in the study. A bibliographic analysis to understand the communication system and networks as such. In addition, it was carried out verifications of the multiplexed system where it was analyzed the measurement of network voltages and speed. The parameters obtained were compared with those established in the manufacturer's manual. It was used diagnostic equipment such as an automotive scanner, automotive oscilloscope, and multimeter. Among the main results, it was found that the car is made up of a combination of CAN and LIN networks. The ABS brake and engine control modules operate with a data transmission rate of 500 kbit / s and are called high- speed CAN. While the control units connected to a low-speed CAN network do so in 100 kbit / s, and the modules used by a LIN network with a low data transmission rate of 17 kbit / s.

**Keywords:** <MECHANICS>, <MULTIPLEXED SYSTEM>, <AUDI Q5>, <CAMPUS AREA NETWORK (CAN)>, <AUTOMOTIVE NETWORKS>, <COMMUNICATION PROTOCOL>, <AUTOMOTIVE SCANNER>, <LOCAL INTERCONNECTION NETWORK (LIN)>



Firmado electrónicamente por:  
**PATRICIA PILAR**  
**MOYOTA AMAGUAYA**



## **INTRODUCCIÓN**

Los avances en la tecnología automotriz han dado lugar a la implementación de sistemas complejos en los vehículos reemplazando los mandos mecánicos por control electrónico. Estos módulos electrónicos generalmente se interconectan a todo un sistema que permite el compartimiento de datos, y un trabajo funcional y eficiente del auto; este sistema de comunicación es conocido como multiplexado que consiste básicamente en transferir gran cantidad de información por un mismo soporte, de manera que se reduzca el volumen de cableado.

En el presente trabajo de investigación se analiza la topología del sistema multiplexado y la velocidad de transmisión de datos de cada una de las redes que se encuentran presentes en un vehículo Audi Q5 2012, mediante la utilización de un equipo de diagnóstico para establecer de manera real y práctica las características de funcionamiento del sistema. El estudio se enfoca en la descripción de los componentes que conforman un sistema multiplexado basándose en referencias bibliográficas, estudios, artículos científicos y análisis realizados; además de detallar el funcionamiento del sistema multiplexado; y posteriormente intenta demostrar la topología del sistema multiplexado del vehículo a través de la comparación entre los parámetros medidos y los que proporciona el manual del servicio y el cálculo de la velocidad de transmisión de datos de cada red presente en el vehículo.

La investigación se desarrolla en tres capítulos en el primer capítulo se analiza la base teórica y conceptual del estudio para explicar la definición y funcionamiento de las redes multiplexadas, en el segundo capítulo se explica la metodología y el procedimiento de análisis y se describe las características del objeto de estudio. En el tercer capítulo se anotan los resultados y el análisis de los mismos. Y finaliza el documento con las conclusiones y recomendaciones que señalan el conocimiento, funcionamiento y comprobación de las diferentes redes del sistema multiplexado que se encuentran en el vehículo Audi Q5 2012.

Con este trabajo de investigación se ha logrado reforzar lo aprendido durante el tiempo de estudio en la universidad, además de sentar una base bibliográfica que sirva para investigaciones futuras.

### **Justificación**

La tecnología ha alcanzado varias áreas y sectores e indudablemente la industria de los automóviles también ha sido abordada, y ha crecido de manera exponencial implementado cada vez más componentes y sistemas que buscan cumplir no solo con las necesidades del cliente incluyendo el confort y el entretenimiento sino también con las normas de emisiones y seguridad.

En este contexto, aparece el sistema multiplexado como un nuevo sistema tecnológico de comunicación del vehículo.

Es importante iniciar este punto mencionando las dos razones principales por las que el multiplexado se emplea:

- La primera, es posibilitar que los dispositivos de red tengan la facilidad de comunicarse con cualquier otro dispositivo de dicha red sin tener que dedicar una conexión para cada par (VIU, 2018).
- La segunda razón es aprovechar al máximo al cableado y al mismo tiempo minimizar el espacio en el vehículo.

Adicionalmente, se conoce que la gran mayoría de vehículos que circulan en la actualidad emplean el sistema multiplexado, lo que evidencia que cada día se acrecienta y se afirma más en el campo automotriz.

Son estas las razones por las cuales el estudio y análisis del multiplexado son importantes para conocer su funcionamiento ya que, cuando existen averías en dicho sistema, es necesaria la intervención de personal técnico especializado y con amplio conocimiento.

Al finalizar el presente proyecto se logrará reforzar lo aprendido durante el tiempo de estudio en la universidad y así, cuando se presente una falla, tener la capacidad de solucionarla oportunamente. También se contará con una fuente de información para quien lo requiera.

## **Problema**

En la actualidad, la información técnica referente a las características de funcionamiento del sistema multiplexado en un vehículo Audi Q5 es deficiente en Ecuador, tampoco existen estudios realizados a profundidad que permitan estar al tanto de las aplicaciones y funciones de dicho sistema, por lo que la manipulación de los elementos que conforman el mismo resulta compleja. Adicionalmente a lo mencionado, cuando se presenta una falla en éste, se requiere la intervención de personal de servicio técnico especializado con vasto conocimiento.

## **Objetivos**

### **Objetivo General:**

Analizar la topología del sistema multiplexado y la velocidad de transmisión de datos de cada una de las redes que se encuentran presentes en un vehículo Audi Q5 2012, mediante la utilización de equipo de diagnóstico de última generación aplicando ingeniería inversa para establecer de manera real y práctica las características de funcionamiento del sistema.

### **Objetivos específicos:**

- Describir los componentes que conforman un sistema multiplexado basándose en referencias bibliográficas, estudios, artículos científicos y análisis realizados.
- Demostrar la topología de un sistema multiplexado de un vehículo Audi Q5 2012, a través de la comparación entre los parámetros medidos y los que proporciona el manual del servicio;
- Detallar el funcionamiento del sistema multiplexado en un vehículo Audi Q5;
- Calcular la velocidad de transmisión de datos de cada red y decodificación de las tramas presentes en el vehículo Audi Q5 2012.

### **Hipótesis**

La aplicación de ingeniería inversa en el sistema multiplexado de un vehículo Audi Q5 2012, permite la obtención de las características de funcionamiento reales de dicho sistema.

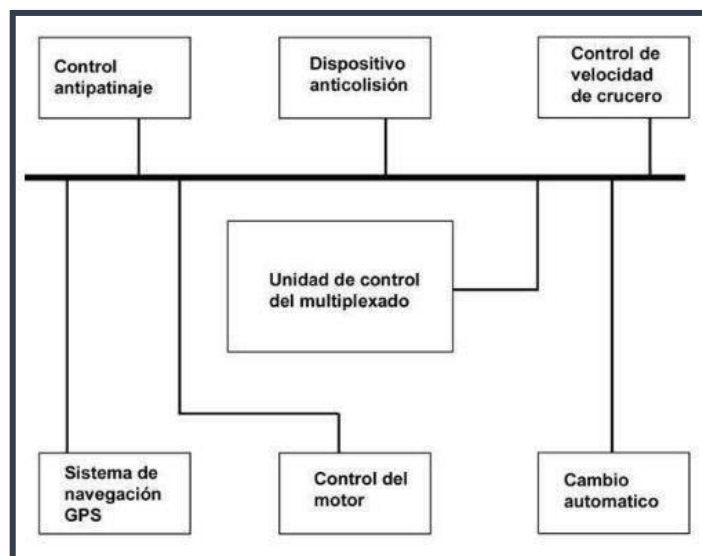
# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1. Sistema Multiplexado

El sistema multiplexado consiste en el uso de multiplexores es decir circuitos combinatoriales con varias entradas y una salida de datos, que reemplazan a los cables que componen una instalación eléctrica de un automóvil, haciéndolo mucho más simple (Chávez & Orozco, 2010).

En este sentido, el sistema multiplexado supone un sistema que envía múltiples señales o flujos de información a través de un enlace de comunicaciones al mismo tiempo en una forma única y compleja señal, es decir hace referencia a una conexión en RED de todos los elementos controlados por una unidad de control, de forma que pueden compartir información entre ellos, permitiendo así reducir una determinada cantidad de cable en el vehículo (Mecánica en Acción, 2014). En la siguiente gráfica se describe el proceso del sistema multiplexado.



**Figura 1-1:** Sistema Multiplexado

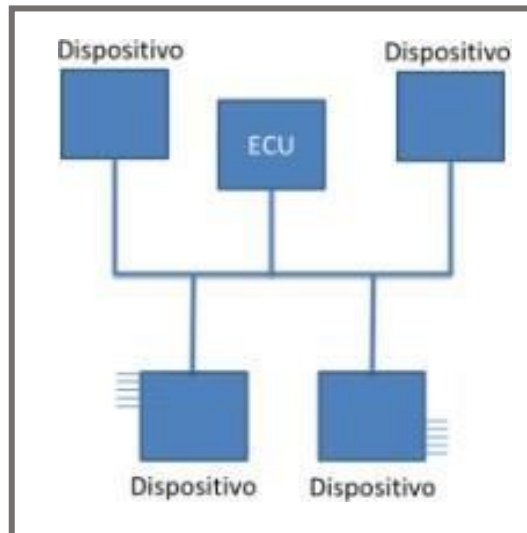
Fuente: Mecánica en Acción, 2014

Existen diferentes sistemas multiplexado, los cuales estiman diferentes protocolos, siendo los más conocidas las siguientes (Mecánica en Acción, 2014):

- J1850 (Protocolo normalizado según SAE): utilizado por CHRYSLER, GM y FORD.
- ABUS Bus de Volkswagen.

- VAN (Vehicule Area Network): normalizado para el grupo PSA y Renault. Este tipo de protocolo está utilizado para comunicar diferentes sistemas del vehículo, como seguridad, Antirrobo, Confort, etc.
- Protocolo Most: Media Oriented System Transport o Most bus, posee 7 niveles del ISO/OIS Reference Model para la comunicación de datos. Posee una topología de anillo respecto al automóvil, y su sistema posibilita plug and play, facilitando la adición y/o extracción de dispositivos de la red. Tiene la ventaja de ofrecer gracias a su ancho de banda, un tráfico de datos superior respecto a otros protocolos bus como el CAN, con una velocidad de 500 MB/segundo. En cuanto a sus funciones, este protocolo se destaca por el sonido, ya que, a comparación de otros, MOST fue diseñado especialmente para lograr excelencia de sonido, teniendo la nitidez como clave principal (Asociación EISA, 2014).
- FlexRay: Es un sistema de bus rápido, determinista y tolerante a los fallos para el uso del campo de la automoción. Como sistema de comunicación no pretende reemplazar a los protocolos existentes, sino trabajar con ellos como con CAN, LIN o MOST. El uso de FlexRay proporciona el determinismo necesario para el control del motor y la tolerancia a fallos para aplicaciones de dirección por cable, freno por cable y otras aplicaciones de seguridad. El periodo de ciclo se divide en dos partes: una estática para mensajes críticos que se activa por tiempo, y otra dinámica para mensajes menos importantes, la cual se activa por demanda (Pico Technology, s. f.).
- Bluetooth: hace referencia a la tecnología inalámbrica (WIRELESS) abierta al intercambio de datos y de voz. Está basada en un enlace de radio de bajo costo y corto alcance, lo que le facilita las conexiones instantáneas (Ad Hoc) para la comunicación proveyendo interconectividad entre cualquier dispositivo que cumpla con las especificaciones del Bluetooth. Su tecnología opera en una banda de frecuencia industrial, científica y médica (ISM) que no requiere licencia, que se localiza en la frecuencia 2.4 GHz. Utiliza una señal bidireccional en un espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS) en una velocidad nominal de 1600 saltos/segundo (Fernández García & Apidi Rodas, 2008, p. 19).
- Protocolo CAN-Bus de datos: ha sido desarrollado especialmente para el uso en automóviles y se implanta en una medida creciente en los vehículos Volkswagen y Audi. Por sus siglas en inglés Can, Controller Area Network (red de área de controlador) y significa que las unidades de control están interconectadas e intercambian datos entre sí, y ofrece una solución a la gestión entre múltiples CPUs o unidades centrales de procesos.
- Dentro del sistema CAN bus se pueden diferenciar dos tipos de cables distintos, el cable de datos high (CAN High) y el cable de datos low (CAN Low). La principal diferencia entre estos dos cables radica en los valores de tensión, mientras que en el CAN Low la tensión varía entre 0V a 2.25V, el CAN High, estos valores van de entre 2.25V a 5V. En un proceso de

diagnóstico, si la masa se ve derivada el sistema hará que se trabaje solo con el CAN Low, mientras que el CAN High se encargará de enviar los datos siendo posible una interconexión entre ambos(Teseomotor, 2013).



**Figura 2-1:** Diagrama de Conexión Bus Can

Fuente: Sánchez, 2016.

Este protocolo de comunicación proporciona beneficios como, alta inmunidad a las interferencias, capacidad de autodiagnóstico y la reparación de errores de datos; es un protocolo de comunicación normalizado, por lo que se simplifica y economiza la tarea de comunicar subsistemas de diferentes fabricantes sobre una red común o tipo bus; el host o procesador anfitrión encomienda la carga de comunicaciones a un periférico inteligente dándole al host mayor tiempo para ejecutar sus propias tareas.

En esta misma línea, algunos de los módulos más instalados y más utilizados por las diferentes marcas de autos son (Ingeniería Autoavance, 2020):

- PCM: Control electrónico del tren motriz (Conjunto motor y transmisión).
- TCM: Control electrónico de la transmisión.
- ABS: Control electrónico sistema de Frenos Antibloqueo
- BCM: Control electrónico de la carrocería.
- IPC: Módulo de control del cuadro de instrumentos.
- EHPS: Módulo de control del sistema asistencia electrohidráulica.
- TPM: Sistema de monitoreo presión neumáticos.
- INMO: Sistema de control de seguridad llave codificada.
- VTD: Sistema de detección sistema antirrobo.
- EBTCM: Sistema de frenos anti bloqueo para GM.

- DDM: Módulo de la puerta del conductor.
- RFA: Módulo Radio Frecuencia.
- IPM: Módulo de fusibles electrónicos.

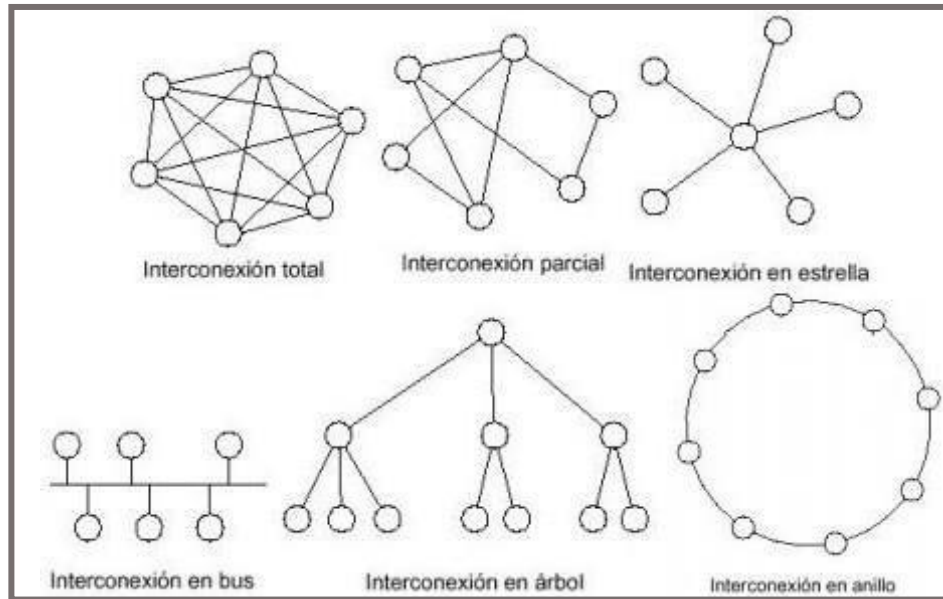
## **1.2. Redes de Comunicación**

Se conoce como red al conjunto de dispositivos interconectados entre sí a fin de generar comunicación y compartir información(Chávez & Orozco, 2010). En el caso del sistema multiplexado todas las unidades están conectadas a la misma red multiplexada, por dos cables electrónicos por donde se aplican los datos a transmitir, en algunos casos, esos cables pueden ser de fibra óptica. Los dos cables que componen las líneas de comunicación denominados L (low) y H (high), normalmente van trenzados y sobre ellos, se envían señales digitales inversas entre ellas, evitando que se genere un campo magnético alrededor del este par de cables(VIU, s. f.).

## **1.3. Topología de la Red de Comunicación de Datos**

Se determina como topologías de red a las distintas estructuras de intercomunicación en que se pueden organizar las redes de trasmisión de datos entre los distintos dispositivos sean esto sensores, actuadores, autómatas programables, robots y demás elementos de automatización autónomos. La topología es de carácter físico y lógico, en el caso de la topología física define a la estructura física de la red, específicamente al modo en que se dispone el cable de interconexión entre los componentes de la red. Y en cuanto a la topología lógica hace referencia al conjunto de reglas que se asocian a una topología física, es decir que son aquellas que definen el modo en el que se gestiona la trasmisión de los datos en la red. Entonces, se puede decir que la topología como tal está asociada directamente con el flujo de información en cuanto a la velocidad, transmisión, tiempo, etc, así como con el control de la red y la forma en que esta se expande y actualiza(VIU, s. f.).

En la figura 3-1 se expone las topologías de red:



**Figura 3-1:** Topología de Red

**Fuente:** Sistemas Industriales Distribuidos (VIU, s. f.)

### ***1.3.1. Configuración punto a punto***

Esta interconexión se refiere a la comunicación que se produce entre dos puntos, se puede citar como ejemplo para tener una idea clara en el imaginario la unión de dos equipos mediante un cable; para una interconexión de punto a punto half-duplex se requiere de un cable que una ambos nodos; y en una comunicación punto a punto full-duplex se requiere de dos cables que unan ambos nodos (Principio de Comunicaciones de Datos, s. f.).

### ***1.3.2. Configuración anillo***

Es aquella como su nombre lo indica donde sus nodos se conectan en serie alrededor de un anillo, en esta configuración no existe un nodo principal y el control de la red se distribuye entre todos los nodos. Por lo cual, si la red es ampliada o reducida, el funcionamiento de esta queda interrumpido, y en el caso de un fallo en la línea puede ocasionar la caída de la red. Es bastante sensible a fallos en los módulos de comunicaciones y en el medio de comunicación. En cuanto a su instalación es compleja pero es fácil variar el número de estaciones (VIU, s.f.).



### ***1.3.3. Configuración estrella***

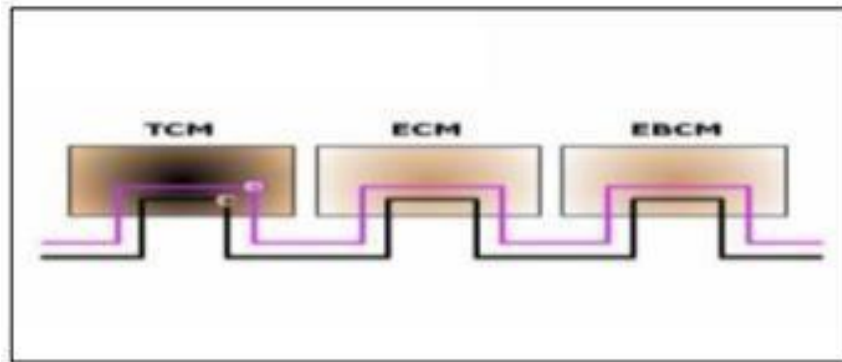
Esta configuración hace referencia a la red en donde un nodo se conecta a otro nodo central encargado del acceso, por lo cual en la presencia y funcionamiento de nodo central es fundamental y decisivo pues se encarga de controlar toda la comunicación, y en el caso que presente cualquier fallo, este afecta a toda la red. En cuanto a su instalación, se recomienda en el caso que los nodos de la red estén cerca al nodo central puesto que se tiene que cablear cada uno hacia el nodo central(VIU, s. f.).

### ***1.3.4. Configuración lineal***

Son redes en las cuales los sensores inalámbricos son colocados con sus enlaces en línea recta, esta configuración consta de nodos sensores inalámbricos y un *Gateway*, este último permite el envío de información fuera de la red de sensores inalámbricos. El funcionamiento de esta topología consiste en que un nodo dispone de información para enviar, entonces este nodo genera un paquete el cual pasa por todos los subsiguientes nodos que se los conoce como intermedios hasta llegar al dispositivo llamado Gateway. Uno de los problema que presenta esta interconexión tiene que ver con el flujo de datos, pues si falla un nodo intermedio se pierde la conectividad de otros nodos así como la funcionalidad de la red (Velástegui, 2016).

### ***1.3.5. Configuración Daisy Chain***

Generalmente esta configuración es aplicada en la conexión electrónica en el campo automotriz, pues es una estructura sencilla ya que tiene un mínimo de nodos dando una mayor seguridad al poseer dos canales de comunicación con los mismos datos de transferencia. Sin embargo, entre sus desventajas se detalla que el caso de desconectarse alguna de las unidades u ordenadores la red queda interrumpida en ese punto, y de ser el caso de una ruptura del canal de comunicación pueden quedar fuera de servicio varias unidades. En esta configuración se aplica una conexión de dos cables trenzados en toda la red(Carpio, 2013).



**Figura 4-1:** Configuración Daisy Chain

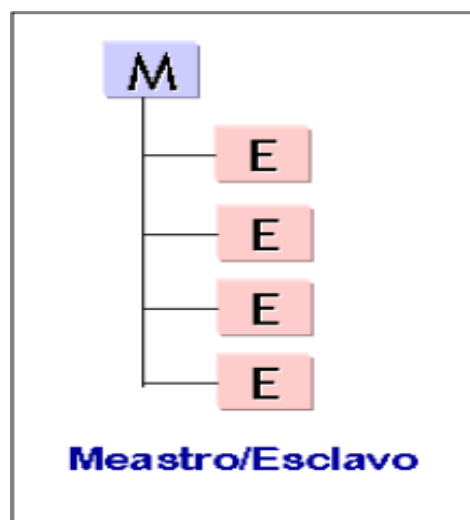
Fuente: Carpio, 2013

#### 1.4. Arquitectura de la Red de Comunicación

Se conocen tres tipos de arquitecturas básicas que determinan cómo un nodo de una red se comunica con otro dentro de la misma red:

##### 1.4.1. Maestro-esclavo

Se refiere a una relación donde un simple nodo ("maestro") inicia y controla una sesión con uno o más dispositivos ("esclavos"). Originalmente diseñado para redes de computadoras mainframe donde la mainframe era la computadora maestra y las terminales "tontas" eran las esclavas. La arquitectura maestro/esclavo no es muy comúnmente usada en redes modernas excepto en casos aislados (por ejemplo, emulación de terminal)(Chávez & Orozco, 2010).



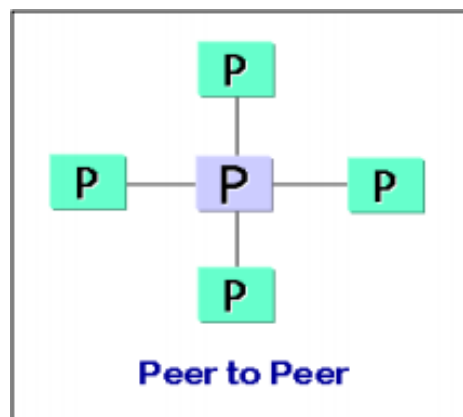
**Figura 5-1:** Maestro Esclavo

Fuente: Chávez & Orozco, 2010

### 1.4.2. Punto a punto

En una red punto a punto, no hay servidores dedicados, y no existe una jerarquía entre los equipos. Todos los dispositivos conectados son iguales (peers). Cada dispositivo actúa como cliente y servidor, y no hay un administrador responsable de la red completa. El usuario de cada equipo determina los datos de dicho equipo que van a ser compartidos en la red (Chávez & Orozco, 2010).

Las redes P2P resultan una buena elección en entornos donde hay como máximo 10 usuarios, los usuarios comparten recursos, tales como archivos e impresoras, pero no existen servidores especializados, la seguridad no es una cuestión fundamental y siempre y cuando la organización y la red sólo experimenten un crecimiento limitado en un futuro cercano. Las redes P2P generalmente decremantan su desempeño de acuerdo a la carga y el número de usuarios, y se caracterizan por ser limitadas a ambientes de LAN pequeñas, plataforma única y poco tráfico.

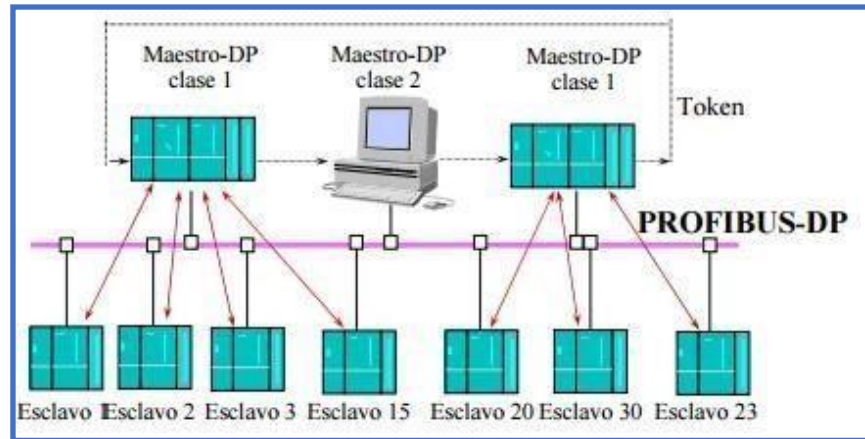


**Figura 6-1:** Red Punto a Punto

Fuente: Chávez & Orozco, 2010

### 1.4.3. Multimaestro

En la configuración multimaestro se conectan varios maestros al bus. Estos maestros son subsistemas independientes consistentes cada uno en un DPM1 maestro y sus correspondientes DP esclavos (o dispositivos adicionales). Las imágenes de las entradas y las salidas de los esclavos pueden ser leídas por todos los DP maestros. Sin embargo, sólo un DP maestro (el asignado durante la configuración) puede tener acceso de escritura en las salidas. Los sistemas multi-maestro presentan un tiempo de ciclo mayor que los sistemas mono-maestro.



**Figura 7-1:** Multimaestro

Fuente: (PROFIBUS, s. f.)

### 1.5. Estado del Arte

Para sustentar la presente investigación de forma más argumentativa y profunda, se ha desarrollado el estado del arte, a partir de la revisión bibliográfica comprendida en bases de datos de revistas especializadas y artículos académicos con una temporalidad 5 a 10 años, a partir de la variable sistema multiplexado, para lo cual se han encorado diversos estudios relevantes de acuerdo a la temática planteada.

Hu et al., (2015) menciona sobre el control predictivo del sistema multiplexado que es un algoritmo de modelo eficiente (MPC), que puede reducir positivamente la carga computacional de la optimización en línea en la implementación de MPC actualizando las entradas de control de manera asincrónica. Además, investiga la aplicación de MMPC en el diseño de suspensión activa de vehículos y propone un controlador MMPC integrado con restricciones suaves y un filtro Kalman basado en un modelo de automóvil completo considerando factores como el confort en el momento de conducir, el agarre a la carretera y la deflexión de la suspensión. Los resultados muestran que el rendimiento general de la comodidad de conducción y el agarre a la carretera se puede mejorar significativamente empleando MMPC y el tiempo promedio que toma MMPC para resolver el problema de programación cuadrática individual es considerablemente menor que el del MPC convencional, lo que demuestra la efectividad del método propuesto.

Figueroa (2015), a través de la investigación del sistema multiplexado en un vehículo híbrido Toyota Prius, presenta conceptos minuciosos, determinando procedimientos y aplicaciones de un sistema multiplexado, intentado comprender cada uno de los sistemas, y dando a su vez un indicio de solución a los problemas de comunicación de datos entre unidades de control electrónica. Este estudio concluye a través de un análisis comparativo que el sistema multiplexado tiene una mayor

ventaja que el sistema convencional, y además representa un ahorro de dinero y maximiza la eficiencia en cada una de las unidades control electrónico y periférico del automóvil.

De la misma manera, Salas (2016), presenta un estudio titulado “Elaboración de un manual sobre el manejo del sistema de red en datos Can-bus Peugeot 206”, en el cual expone los detalles de los códigos de falla así como también el proceso de corrección. Finalmente presenta una guía técnica del sistema de red en datos CAN-BUS cuyo objeto que persigue es incrementar los rendimientos de operación, promoviendo de forma técnica el mantenimiento preventivo y correctivo del sistema.

Sanchez et al.,(2016), realiza una revisión documental del protocolo CAN como herramienta de comunicación y aplicación en vehículos, en la cual se refiere a la incorporación de los sistemas electrónicos en automóviles y en especial de la red de comunicación CAN (Control Area Network), desarrollada por Bosch en los años ochenta, como la única red multiplexada de comunicación en los automóviles; para garantizar el acoplamiento de las redes de comunicación en el ámbito automotriz y estándares a nivel de diagnóstico de fallas, para el funcionamiento correcto del vehículo.

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

González-Filgueira & Viana, (2016) se examina la posibilidad de aplicación de un sistema multiplexado en un autobús turístico de dos pisos, utilizando como base el bus CAN (Controller Area Network), como nexo entre el chasis del autobús, el cuadro de mandos y los demás equipos de la carrocería, quedando totalmente integrado. Dicho protocolo resulta útil como solución para la gestión de la comunicación entre múltiples CPU´s.

Alsina & Lopresti, (2017) realizan un completo análisis a 5 redes multiplexadas presentes en un vehículo Peugeot 308 T9, enfocándose sobre todo en las actividades principales y complementarias del funcionamiento general del automóvil, seguridad, asistencia a la

conducción, confort, entre otras, haciendo mención a la distribución de tareas para cada red y su respectiva importancia en el conjunto.

La disposición de las conexiones entre sensor y computador no solo considera la función del computador, sino que también se toma en cuenta la distribución física en el espacio disponible, minimizando el volumen del cableado. También se definen los protocolos de transmisión de datos y especificaciones técnicas de la arquitectura multiplexada propiamente tal, incluyendo magnitudes como el voltaje de trabajo de cada red, y valores determinados para crear sus señales binarias. Se eligió como objeto de análisis uno de los modelos más completos de la marca, la información presentada será apta para cualquier tipo de lector que quiera saber sobre el sistema multiplexado implementado en vehículos de igual o menor complejidad, esto con la intención de utilizar el texto como apoyo pedagógico para la carrera de Técnico Universitario en Mecánica Automotriz UTFSM, ampliando los recursos disponibles para el estudiante, mostrando de forma explicativa la comunicación de los diferentes computadores, al mismo tiempo dando a conocer las nuevas tecnologías en el campo automotriz.

Murillo, (2017) en cambio, realiza un proyecto de capacitación para entender el manejo y funcionamiento del equipo FSA740 que ha sido proporcionado por Bosch, ya que es un equipo de suma importancia para la recolección de datos y detección de fallas del sistema CAN en el cabezal Scania R420. Dentro de esta investigación se procedió a recabar información concerniente al cabezal Scania R420, en dicha información se puede observar en qué lado de la cabina se encuentra el conector del sistema CAN e identificar las líneas con las que consta dicho sistema y a su vez realizar las pruebas de funcionamiento del sistema comprobando las líneas high y low del sistema CAN; a continuación, se realizó las pruebas pertinentes para la detección de fallas en el supuesto caso que estas existieran en el cabezal.

Dentro de este estudio se efectuó una comparación entre los parámetros del fabricante y los obtenidos por las pruebas ya que el cabezal posee su recorrido del respectivo uso que se le ha dado desde su salida del concesionario. Toda esta información se obtuvo de la revisión de manuales de servicio de fabricante y verificándolo físicamente. Se pudo determinar el estado del cabezal y el mismo se encuentra en óptimas condiciones, sin encontrar daño alguno o fallas en el sistema can del cabezal.

Así mismo, Huamán Arboleda & Saltos Zambrano (2018) en su estudio titulado "Diseño e implementación de módulos didácticos con comunicación Bus-Can para los sistemas de luces y alarma de un automóvil moderno", en el que se desarrolla un proyecto de implementación dos módulos didácticos, uno para el control del sistema de luces y el otro para el sistema de alarma

de un automóvil moderno, bajo el protocolo CAN (Controlador de Red Local - Controller Area Network), generando un banco de prácticas. Los módulos didácticos cuentan con diversos sistemas inteligentes, las dos tarjetas electrónicas BCM recogen información del funcionamiento de los sistemas, luego son procesados y transmitidos a la tarjeta principal ECU, el cual se encarga de visualizarlo y así de esta manera se pueda generar un correcto diagnóstico y dar una solución rápida de la falla que se presenta. La implementación de los dos módulos didácticos facilitó el aprendizaje de los sistemas de luces y alarmas del automóvil a los estudiantes de la empresa TAAET ELECTRONICS.

Por otra parte, el equipo OSTER et al.,(2019) crearon unos acopladores de guía de onda y uniones para permitir sistemas de sensores multiplexados por división de frecuencia en vehículos, que básicamente se trata de un sistema de comunicación selectiva de longitud de onda en donde las guías de onda dieléctricas están acopladas al diel primario.

Un estudio reciente, es el de García & Fernández (2020) cuyo objeto es la implementación de un método de diagnosis mediante la verificación de elementos que varían en la trama de información del protocolo de comunicación CAN (Controller Area Network) de un vehículo Volkswagen Jetta 2009 para reducir el tiempo de diagnóstico. La información de la red de comunicación recolectada en bases de datos, mediante una tarjeta de adquisición National Instruments (NI), permitió analizar la data frames en tiempo real, mientras el módulo PCM (Power-Train Control Module) era manipulado.

Los datos obtenidos en función de generar fallas intencionales se compararon con los estados en funcionamiento normal, lo que permitió reconocer los bytes que cambiaban en el momento en el cual el vehículo se encontraba en situación de falla. Además, se utilizó el software Matlab para desarrollar un modelo de red CAN mediante su plataforma Vehicle Network Toolbox (VNT) para verificar el comportamiento de la información en tiempo real y cuyos resultados se validaron mediante el prototipo de red CAN

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

Para alcanzar los objetivos del presente estudio se procedió aplicar una metodología de tipo cualitativo que según Taylor (1975) se refiere a investigaciones que producen datos descriptivos (Carrillo, 2004), la cual se logra a través de un soporte de fuentes bibliográficas y el análisis de varios textos documentales sobre la temática planteada a fin de explicar de manera sistemática la idea y contenido del eje de estudio (Noroña M & Gómez B, 2019), el cual para nuestro caso corresponde al sistema multiplexado de un Audi Q5 2012.

Además el diseño metodológico es de carácter no experimental es decir aquel que se realiza sin la manipulación deliberada de alguna variable por parte del investigador; puesto que se basa fundamentalmente en conceptos, sucesos en su contexto natural para un posterior análisis de acuerdo al objeto de la investigación (Hernández Sampieri et al., 2014) con lo cual se entiende que en este trabajo de grado se estudió el sistema multiplexado sin ninguna variación experimental sino por lo contrario se pretende un análisis del sistema tal y como se presenta el mismo; y es descriptiva porque se trata de una investigación sistémica del objeto de estudio, cuyo objeto es obtener datos precisos de un fenómeno en concreto, los datos percibidos se transcriben en un formato predeterminado y se organizan dependiendo de la importancia o el significado para su subsiguiente análisis (Arias, 2012).

El enfoque de la investigación planteada es transeccional o también conocido como transversal el cual se caracteriza por la recolección de datos en un solo momento y en un tiempo único siguiendo el propósito de describir variables, y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado (Hernández Sampieri et al., 2014).

Con lo descrito anteriormente se pretende a través de bases documentales sobre todo apoyados en el Manual del Audi Q 2012 describir las redes de comunicación disponibles del vehículo, la velocidad de la transmisión de datos, así como los niveles de tensión y los niveles dominante recesivo de cada red, y a continuación realizar el análisis comparativo con los cotejos de laboratorio.

#### 2.1. Vehículo de prueba

A continuación, se describe las principales características del vehículo que ha sido objeto de este estudio, se trata de un AUDI Q5 2012 como se observa en la figura 1-2, lanzado al mercado por la empresa multinacional alemana AUDI.





**Figura 1-2:** Vehículo Audi Q5

Realizado por: LÓPEZ, Jenny, 2021

**Tabla 1-2:** Tipo de Vehículo

<b>Marca:</b> AUDI	<b>Modelo:</b> Q5
<b>Versión:</b> 2.0 TFSI 225 CV Quattro Advance	<b>Año modelo:</b> 2012
<b>Torque máximo:</b> 350 Nm	<b>Potencia:</b> 224 CV / 155 kW

**Fuente:** Manual Audi Q5 2012

**Tabla 2-2:** Ficha Técnica Audi Q5 2012

<b>FICHA TÉCNICA AUDI Q5 2012</b>	
<b>DATOS</b>	<b>Q5 2.0 TFSI AT</b>
Construcción del motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combustible: Gasolina</li> <li>• 4 cilindros en línea</li> <li>• Inyección directa</li> <li>• 16 válvulas (Audi valvelift system)</li> <li>• Turbo e intercooler</li> <li>• DOHC (Doble árbol de levas)</li> </ul>
<b>Transmisión</b>	
Tipo de tracción	Integral permanente quattro
Sistema de transmisión	0B2 Manual 6 marchas 0B5 Automática doble embrague de 7 velocidades
<b>Chasis y dirección</b>	
Eje delantero	Suspensión independiente; paralelogramo deformable formado por cinco brazos; amortiguadores de gas a presión de doble tubo, muelles helicoidales y barra estabilizadora.
Eje trasero	Suspensión independiente; con brazos trapezoidales; amortiguadores de gas a presión de doble tubo, muelles helicoidales y muelle de tracción con tope.
Sistema de frenos	Sistema de doble circuito en diagonal con ABS/EBV y programa electrónico de estabilidad ESP con asistencia en frenada, servofreno en tándem; delante: discos autoventilados; detrás: discos
Sistema ESP	Detección automática de campo Control de asistencia en descenso Sistema de estabilización de remolque y vehículo remolcador Detección de barras de techo
Dirección	Dirección electromecánica con asistencia dependiente de la velocidad
Neumáticos	235/65 R17 Aluminio Forjado o Fundición de aluminio pintado 235/60 R18 Fundición de aluminio pintado 235/55 R19 Fundición de aluminio pulido o pintado 255/45 R20 Aluminio fundido pintado o revestido de cromo 235/60 R17 Aluminio forjado pintado (rueda de invierno)
Faros delanteros	Faro halógeno Faro bi-xenón Faro bi-xenón con luz adaptativa (luz dinámica en curvas)
Faros posteriores	Versión básica - en combinación con el faro halógeno Versión LED en combinación con el faro bi-xenón o el faro bi-xenón con luz adaptativa Versión LED para mercados norteamericanos
<b>Rendimiento y Consumo</b>	
Velocidad máxima en km/h	228 km/hr
Aceleración 0-100km/h en s	6,9 s
Tipo de combustible	Gasolina
Consumo total de combustible en km/lt	12,5
Emisión de CO2 en g/km	186
Clase de emisión	EU6

Fuente: Manual Audi Q5 2012

En la tabla 3-2 se muestran las dimensiones del vehículo, las cuales están representadas en medidas internacionales (milímetros), y se refieren al peso en vacío (sin carga).

**Tabla 3-2:** Dimensiones del vehículo Audi Q5 2012

<b>Lenght</b> in mm	4629	<b>Internal width, front</b> in mm	1465
<b>Width</b> in mm	1880	<b>Internal width, rear</b> in mm	1432
<b>Height</b> in mm	1653	<b>Headroom, front</b> in mm	1043
<b>Track width, front</b> in mm	1617	<b>Headroom, rear</b> in mm	990
<b>Track width, rear</b> in mm	1613	<b>Through-loading width</b> in mm	1050
<b>Wheelbase</b> in mm	2807	<b>Load sill height</b> in mm	693
<b>Trailer load</b> in kg**	750/2400/200	<b>Luggage capacity</b> in l	540
<b>Kerb weight</b> in kg	1865	<b>Fuel tank capacity</b> in l	75
<b>Max. allowable weight</b> in kg	2445	<b>Drag coefficient</b> in $C_w$	0.33

Fuente: Manual Audi Q5 2012

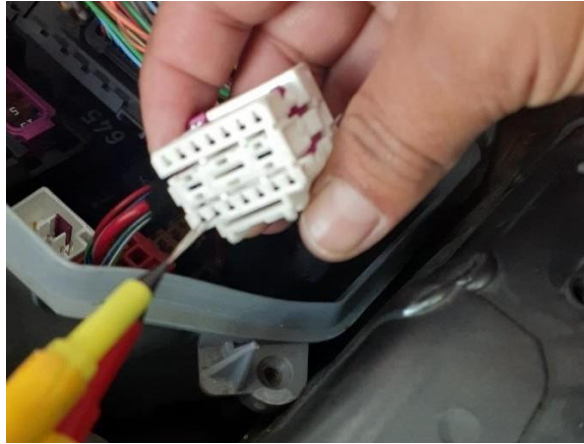
Realizado por: LÓPEZ, Jenny, 2021

## 2.2. Procedimiento

Las redes multiplexadas son protocolos de comunicación para los diferentes módulos de control dentro del vehículo, por lo cual para medir las tensiones en la red es necesario tener un scanner automotriz, osciloscopio automotriz, multímetro, juego de llaves y rachas, y software labsoft.

Para realizar el procedimiento es un requisito tener la batería cargada al 100% (12,6 V) y conectada al vehículo, a continuación, conectar el escáner al conector OBD II. Una de las funciones que tiene el escáner es determinar las unidades electrónicas que tiene el vehículo. Y para la medición de valores en la red se necesita tener los valores teóricos de tensión y resistencia, y el diagrama eléctrico que se encuentran en el manual del fabricante. Además, el manual brinda la información exacta de la ubicación física de todos los módulos electrónicos.

Con el vehículo en KOEO y la ubicación de la unidad de control, se procedió a colocar las puntas de medición del osciloscopio en los pines de conexión para medir las señales de comunicación. A través de la forma de onda de la señal del osciloscopio se pudo medir el tiempo de bit para luego aplicar la fórmula de velocidad de transmisión de datos, y con estos valores fue posible determinar el tipo de bus de comunicación.



**Figura 2-2:** Identificación de los pines de la red CAN

Realizado por: LÓPEZ, Jenny, 2021

La velocidad de transmisión de datos se determinó dividiendo un bit para el tiempo de bit con la siguiente fórmula:

$$v = \frac{1 \text{ bit}}{t_b}$$

El osciloscopio del software Labsoft, el cual otorga la función de medir los niveles de tensión dominante y recesivo en la red. Además, con la ayuda de un osciloscopio marca AUTEL ULTRA se pudo determinar las tramas de comunicación en las redes.

### **2.3. Análisis de las redes de comunicación disponibles en el vehículo AUDI Q5 2012**

Como ya se mencionó en el marco teórico una red de comunicación hace referencia a la “interconexión de dos o más unidades mediante una conexión alámbrica o inalámbrica para el intercambio de información o transmisión de datos” (Sánchez Vela et al., 2016, p. 3) El funcionamiento del sistema multiplexado en el vehículo Audi Q5 2012 es partir de un red de CAN conocido como sistema de intercomunicación de unidades rápido para la conexión y traspaso de datos de información que requiera a cada uno de las unidades electrónicas. La industria automotriz adoptó rápidamente CAN y, en 1993, se convirtió en el estándar internacional conocido como ISO 11898 (Engineer Ambitiously, 2020).

En cuanto a la velocidad de transmisión de datos es muy común que una Red CAN cuente con alta velocidad para las centrales de gestión de motor, tracción y gestión de cambios; y de baja velocidad en cuanto a los sistemas de confort (Sánchez Vela et al., 2016).

En el AUDI Q5 2012 se utiliza una red multiplexada CAN para la comunicación de los diferentes módulos electrónicos del vehículo. La red CAN a comparación de otras redes brinda mayor

seguridad para la transmisión de datos y lo hace por medio de cable eléctrico. Es por lo que todo el tren de potencia, conveniencia, suspensión, panel de instrumentos, infoentretenimiento y diagnóstico están conectados por medio de la mencionada red.

Características de red CAN (Electronics, 2020)

- Necesita solo dos cables de velocidad CAN\_H (alto) y CAN\_L (bajo).
- Opera en tasas de 1 Mbit/s (CAN clásica) o 5Mbit/s (CANFD).
- Soporta máximo 8 bytes por mensaje de trama.
- No soporta identificador de nodos, solo identificador de mensajes. Una aplicación puede soportar múltiples identificadores de mensajes.
- Soporta prioridad de mensajes. El ID menor es el ID de mayor prioridad.
- Soporta dos tamaños de identificador (ID), uno de 11 bits (estándar) y otro de 29 bits (extendido).
- No experimenta colisión de mensajes (esto ocurre en otras tecnologías de comunicación serial).
- La longitud máxima del cable CAN debe estar entre 500 metros (125 kbit/s) y 40 metros (1 Mbit/s).

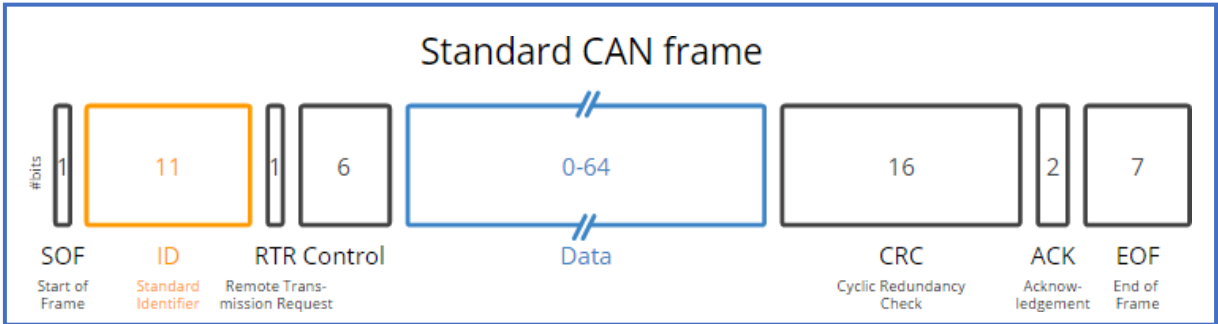
El bus CAN de baja velocidad permite velocidad de 40kbit/s a 125kbit/s, y brinda la capacidad de continuar la comunicación incluso si hay una falla en uno de los dos cables, lo que se conoce como “falla CAN tolerante”.

En el gráfico 9 se observa la transmisión de datos por medio CAN que se lo realiza a través de tramas:

- **SOF (Start of frame):** inicia con un bit el cual es utilizado para que las unidades de control puedan sincronizarse.
- **ID (Standard Identifier):** el identificador estándar de 11 bit reconoce la prioridad del mensaje a las unidades para ser introducidos los mensajes.
- **RTR Control (Remote Transmission Request):** La solicitud de transmisión remota solicita datos a otras unidades que necesita o para realizar un chequeo, el RTR=0 contiene datos y el RTR=1 no contiene datos.
- **Control:** Son las características del campo de datos.
- **Data:** Es la información de las unidades de control que se ha introducido a la línea CAN-Bus.
- **CRC (Cyclic Redundancy Check):** es la verificación para la detección de errores.
- **ACK (Acknowledgement):** Está compuesto por 2bit y es un reconocimiento de que la unidad de mando a recibido el mensaje. El ACK transmite los bits como recesivos (1), las unidades

de control reciben el CRC y modifican el ACK por un dominante (0). De no ser así se interpreta como un mensaje con error.

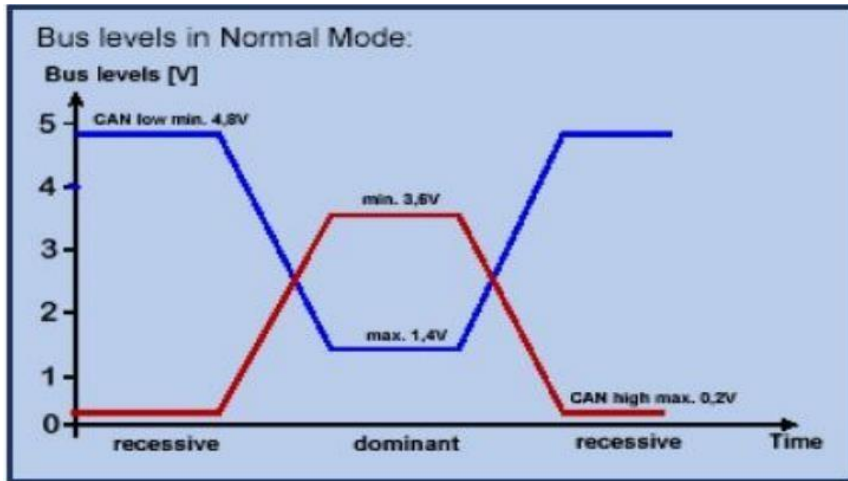
- **EOF (End of Frame):** Final del mensaje.



**Figura 3-2:** Trama de datos estándar CAN

Fuente: (Electronics, 2020)

Las señales eléctricas en el bus CAN están definidas por el estándar ISO 11519 para baja velocidad como se observa en la figura 4-2 aplicados a dispositivos electrónicos internos como luces, asientos, techo corredizo, control de puertas.



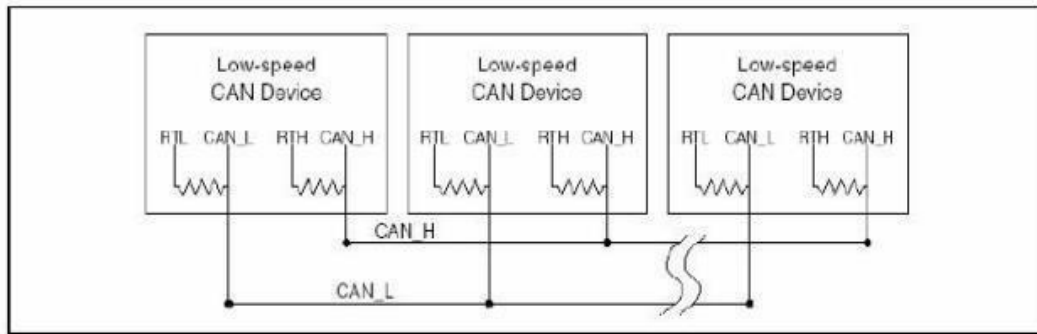
**Gráfico 1-2:** Niveles de bus en modo baja velocidad

Fuente: (Imagen obtenida de Electronics, 2020)

Los nodos son conectados en este bus por medio de dos niveles lógicos, dominante y recessivo:

- Dominante: la diferencia de tensión entre CAN H y CAN L es de 2V, con valores nominales de CAN H=3.5V y CAN L=1.5V
- Recesivo: la diferencia de tensión entre CAN H y CAN L es de 5V, con valores nominales de CAN H=0V y CAN L=5V

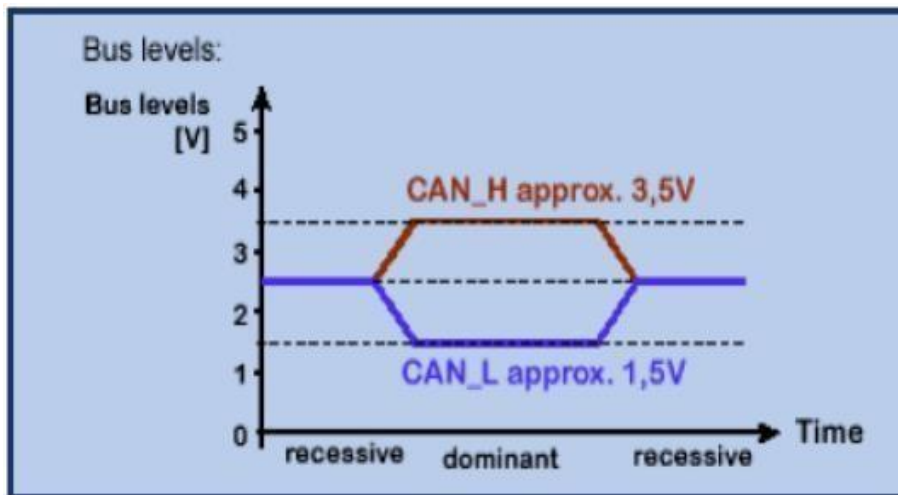
El bus de baja velocidad utiliza dos resistencias en cada transceptor: RTH para CAN H y RTL para CAN L, esto le permite detectar fallos en la red. Las resistencias se las suma en paralelo dando como resultado un rango de 100-500 Ohm.



**Figura 4-2:** Configuración del bus en baja velocidad

Fuente: Electronics, 2020

Para el sistema de bus CAN de alta velocidad lo define el estándar ISO 11898 como se observa en la figura 6-2 es utilizada para el control de motor e interconectar las unidades de control electrónico.



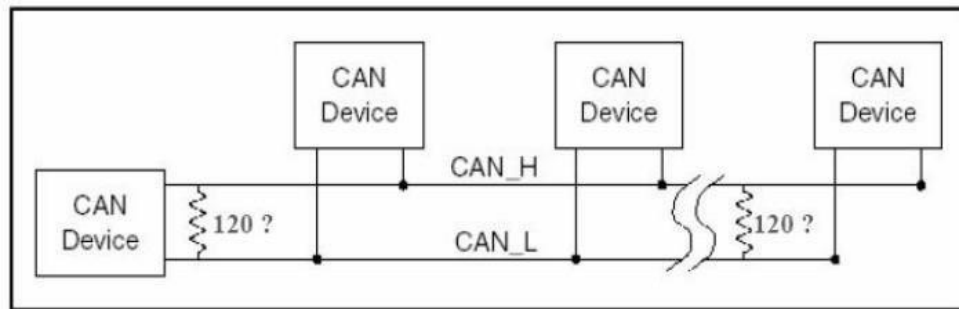
**Gráfico 2-2:** Niveles del bus en alta velocidad

Fuente: Electronics, 2020

Los nodos son conectados en este bus por medio de dos niveles lógicos, dominante y recesivo:

- Dominante: la diferencia de tensión entre CAN H y CAN L es de 2V, con valores nominales de CAN H=3.5V y CAN L=1.5V
- Recesivo: la diferencia de tensión entre CAN H y CAN L es de 0V, con valores nominales de CAN H=2.5V y CAN L=2.5V

Los dos cables trenzados constituyen una transmisión en línea, debido a que la comunicación en el CAN fluye en los dos sentidos, los extremos de red están cerrados con una resistencia de 120 Ohm con lo que logran disipar una potencia de 0.25W.



**Figura 5-2:** Configuración de bus en alta velocidad

Fuente: Electronics, 2020

La operación sin problemas de la CAN-Bus requiere que tenga una resistencia terminal. Esta resistencia terminal central se encuentra en el -J623- Motronic (Módulo de control del motor).

Con un multímetro, compruebe los terminales de conector de mazo eléctrico de interfaz de bus de datos de diagnóstico a bordo -J533- 6 a 16 para la resistencia. El valor especificado es de 60 a 72 ohmios (a aproximadamente 20 ° C).

Con un multímetro, compruebe el conector de la instalación eléctrica de interfaz de bus de datos de diagnóstico a bordo -J533- al módulo de control del motor Motronic (ECM) -J623- arnés eléctrico T94 conector para la resistencia. El valor especificado es de 1,5 ohms Max.

**Tabla 4-2:** Comprobación de correcto funcionamiento del CAN-bus

El interfaz de diagnóstico de bus de datos a bordo – terminales del conector del arnés eléctrico J533-	Módulo de control del motor Motronic (ECM) -J623-terminales de conector eléctrico T94 o enchufes caja de prueba
6 (Can_Bus Low)	67
16 (Can_Bus alta)	68

Fuente: Manual Audi Q5 2012

Realizado por: LÓPEZ, Jenny, 2021

## PROCOLO LIN

Dentro de la red también existe un protocolo LIN, que es una comunicación multiplexada de bajo costo en redes automotrices. LIN brinda una comunicación más accesible en costo donde las aplicaciones de ancho de banda y versatilidad del CAN no son requeridas. El bus LIN utiliza un solo dispositivo maestro y uno o más dispositivos esclavos, la unidad de control LIN maestra va conectada a la red CAN. Esto es evidenciable en el diagrama de la red donde la unidad de control



climatológico es el módulo maestro, y la unidad de control del ventilador de aire fresco y los motores de control de aletas son los módulos esclavos.

Características de protocolo LIN.

- Opción de bajo costo (si la velocidad / tolerancia a fallas no son críticas)
- Los clústeres LIN constan de 1 maestro y hasta 16 nodos esclavos
- Un solo cable (+ tierra) con 1-20 kbit / s a una longitud máxima de bus de 40m
- Programación activada por tiempo con tiempo de latencia garantizado
- Longitud de datos variable (2, 4, 8 bytes)
- LIN admite detección de errores, sumas de verificación y configuración
- Voltaje de funcionamiento de 12V
- Capa física basada en ISO 9141 (línea K)
- Modo de suspensión y soporte para despertar
- La mayoría de los vehículos más nuevos tienen más de 10 nodos LIN

La transmisión de datos por medio LIN consta de un encabezado y una respuesta, el maestro LIN transmite un encabezado al bus LIN, a continuación, en el gráfico 14 se describe la trama:

**Break:** The Sync Break Field (SBF) tiene una longitud de 13 a 14 bit aunque en la práctica es de 18 a 20 bit, indica el inicio de trama para los nodos LIN del bus.

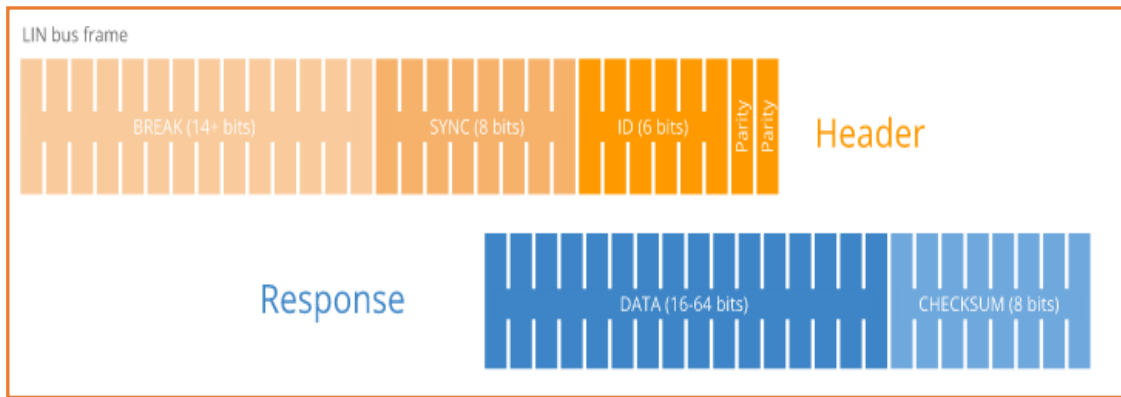
**Sync:** la sincronización es de 8 bits esta predefinido con 0x55 (en binario 01010101). Permite que la sincronización entre los nodos sea la correcta.

**Identifier:** el identificador es de 6 bits, seguido de 2 bits de paridad. Identifica el mensaje de cada LIN enviado y que nodos reaccionan al encabezado. Los esclavos determinan la validez del campo identificador según los bits de paridad y actúan a través de:

- Ignore la transmisión de datos posterior
- Escuche los datos transmitidos desde otro nodo
- Publica datos en respuesta al encabezado

**Data:** Cuando un esclavo LIN es consultado por el maestro, responde transmitiendo 2, 4 u 8 bits de datos. Desde LIN 2.0, la longitud de datos depende del rango ID (ID 0-31: 2bits, 32-47:4bits, 48-63:8bits). Los datos contienen la información real que se comunica en forma de señales LIN.

**Checksum:** Es el que garantiza la validez de trama LIN.

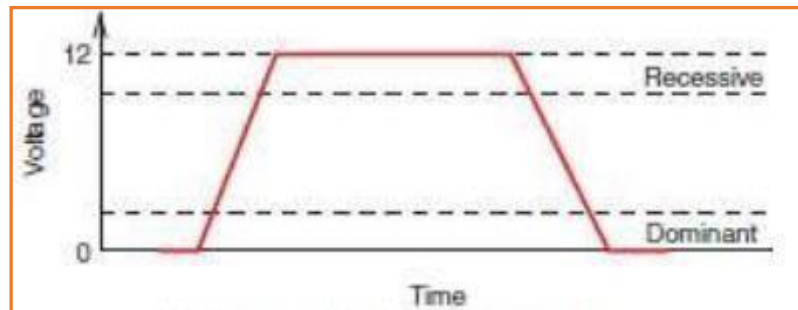


**Figura 6-2:** Trama de datos estándar LIN

**Fuente:** Manual Audi Q5 2012

En la red de datos LIN los valores nominales para voltajes de funcionamiento se los define en dos niveles lógicos:

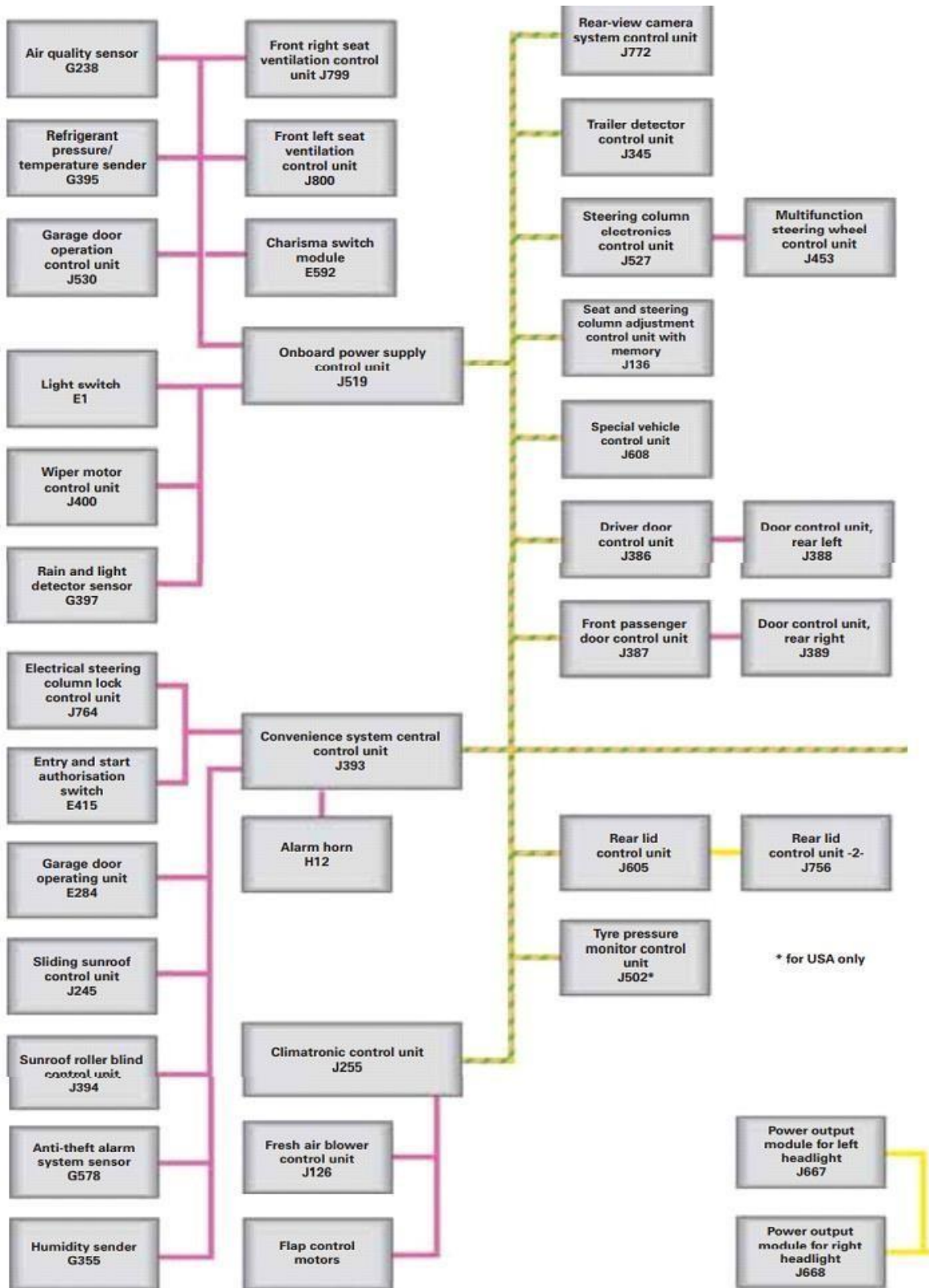
- Dominante: valor nominal es de 0V (tierra).
- Recesivo: valor nominal de 12V (terminal positivo de batería)



**Gráfico 3-2:** Niveles de tensión en el bus de LIN

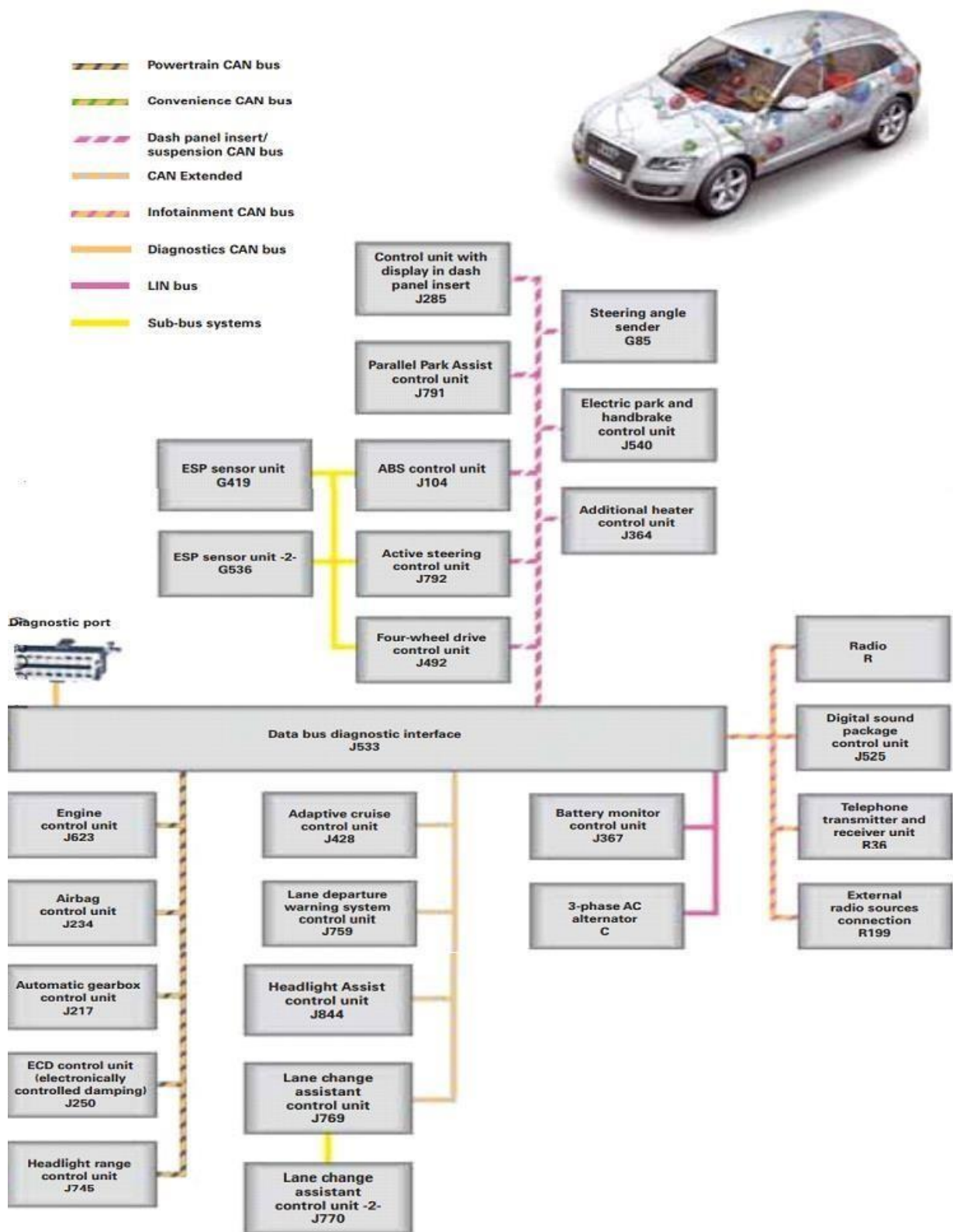
**Fuente:** Manual Audi Q5 2012

Todos los módulos observados en el diagrama esta conectados por medio de la red CAN a una interfaz de diagnóstico de bus de datos, por lo que es posible realizar un diagnóstico de todos los componentes electrónicos del vehículo por medio de un escáner para el análisis de posibles fallas en el sistema.



**Figura 7-2:** Diagrama de conexión por medio de la red CAN

Fuente: Manual Audi Q5 2012

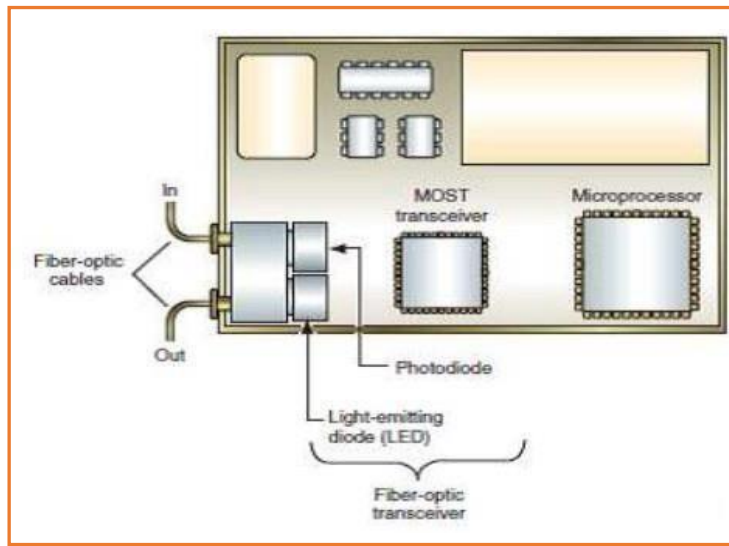


**Figura 8-2:** Interfaz de comunicación CAN en AUDI Q5 2012

Fuente: Manual Audi Q5 2012

## PROTOCOLO MOST

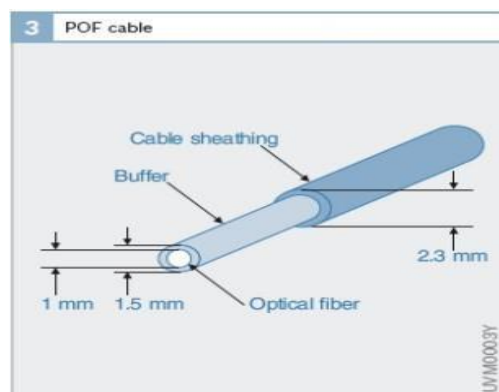
El AUDI Q5 2012 en una de sus presentaciones también utiliza un sistema MOST (*Media Oriented Systems Transport*), el cual es un estándar para redes de entretenimiento multimedia e información, por su alta velocidad de transmisión de datos, pero un medio de transmisión poco seguro (fibra óptica). Su función síncrona permite a los dispositivos proporcionar contenido con mínimo hardware, con una excelente calidad en la transmisión de audio y video. En la figura 9-2 se puede observar una configuración de nodo MOST.



**Figura 9-2:** Elementos de un nodo en bus MOST

Fuente: Manual Audi Q5 2012

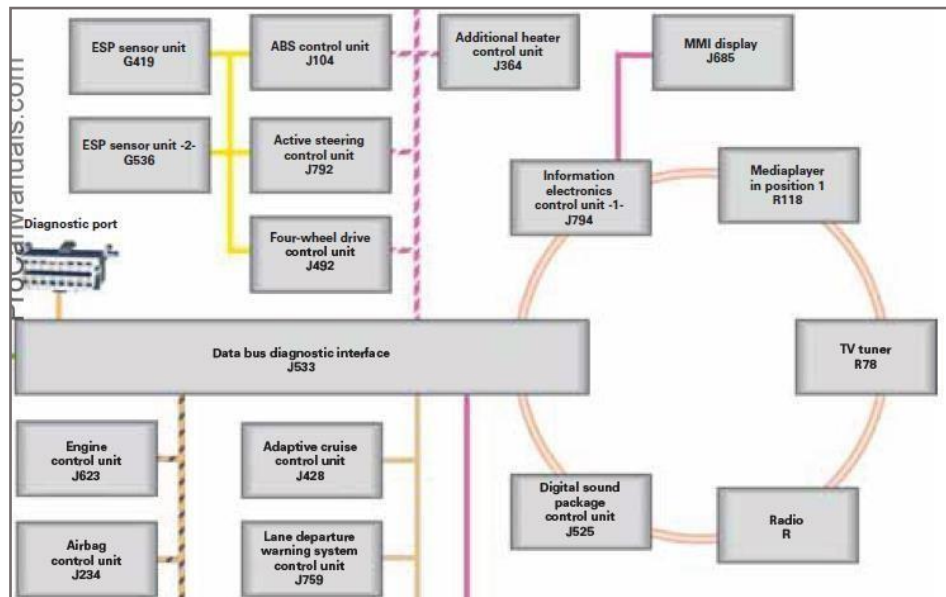
Los cables POF usados para aplicaciones automotrices consiste en un núcleo óptico grueso aislado de 980  $\mu\text{m}$  por un revestimiento óptico grueso e 20  $\mu\text{m}$  con un bajo índice de refracción, en total el conductor óptico tiene un diámetro de 1mm. La fibra óptica es aislada con un buffer negro, que es revestido por un protector de cable. Esto da al cable un diámetro total de 2.3mm como se observa en la figura 13-2.



**Figura 10-2:** constitución de un cable de fibra óptica POF

Fuente: Manual Audi Q5 2012

La radio, la TV, la unidad de control del paquete de sonido digital, el reproductor multimedia, y la unidad de control de información electrónica están comunicadas por medio de una red Most para luego transmitir la información a la interfaz de diagnóstico de bus de datos.



**Figura 11-2:** Red de infoentretenimiento

Fuente: Manual Audi Q5 2012

### Velocidad en la transmisión de datos

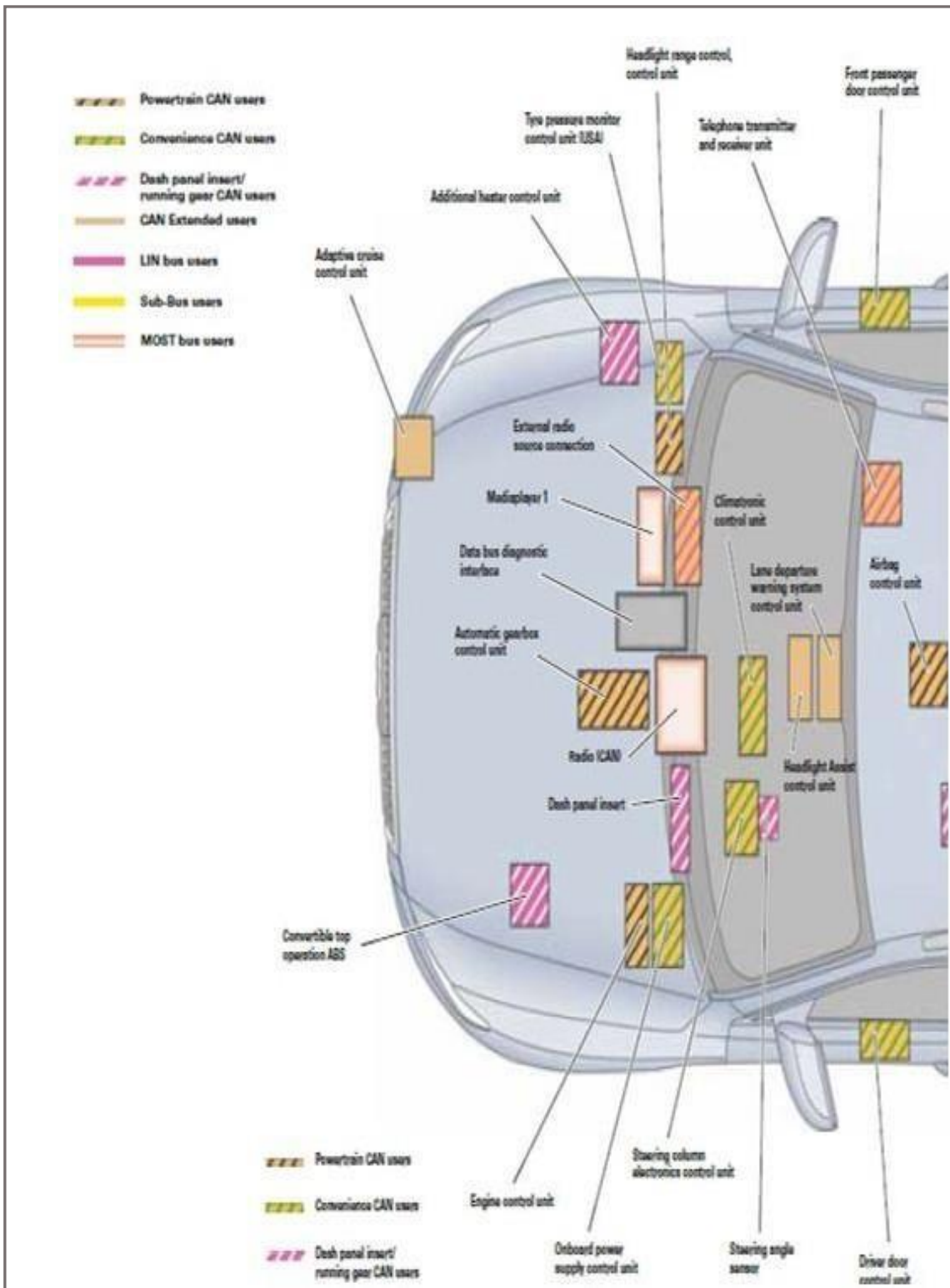
Al comparar los distintos protocolos de comunicación que se utilizan en los vehículos en la actualidad, es conveniente destacar la velocidad de transmisión y la seguridad de transmisión de datos.

El protocolo con la mayor velocidad de transmisión de datos es MOST con 21.2 Mbps, luego le sigue FlexRay con 10Mbps de velocidad. El protocolo CAN tiene una velocidad de 1 Mbit/s (CAN clásica) o 5Mbit/s (CAN FD), y el protocolo LIN es el de menor velocidad con 20 Kbps.

En el automóvil los protocolos más rápidos no son utilizados en sistemas de control de transmisión o motor debido a no tener la seguridad en transmisión de datos requerida. Es por lo que la red más utilizada para la comunicación es la red CAN que también la encontramos en el AUDI Q5 2012.

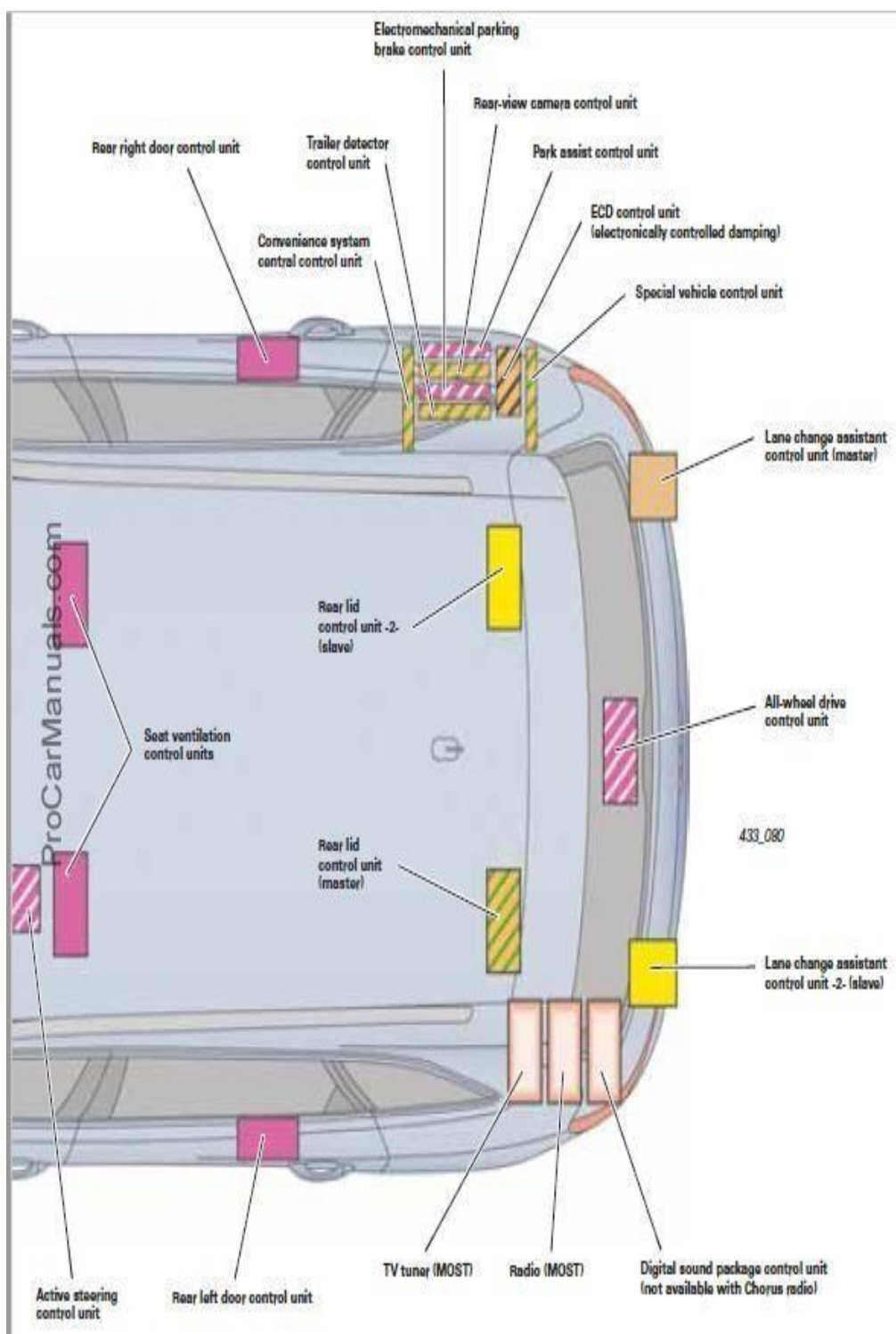
### Módulos electrónicos en AUDI Q5 2012

En las figuras 12-2, 13-2 se indican todos los módulos electrónicos del vehículo AUDI Q5 2012 con las respectivas redes utilizadas para la comunicación.



**Figura 12-2:** Módulos electrónicos delanteros

Fuente: Manual Audi Q5 2012



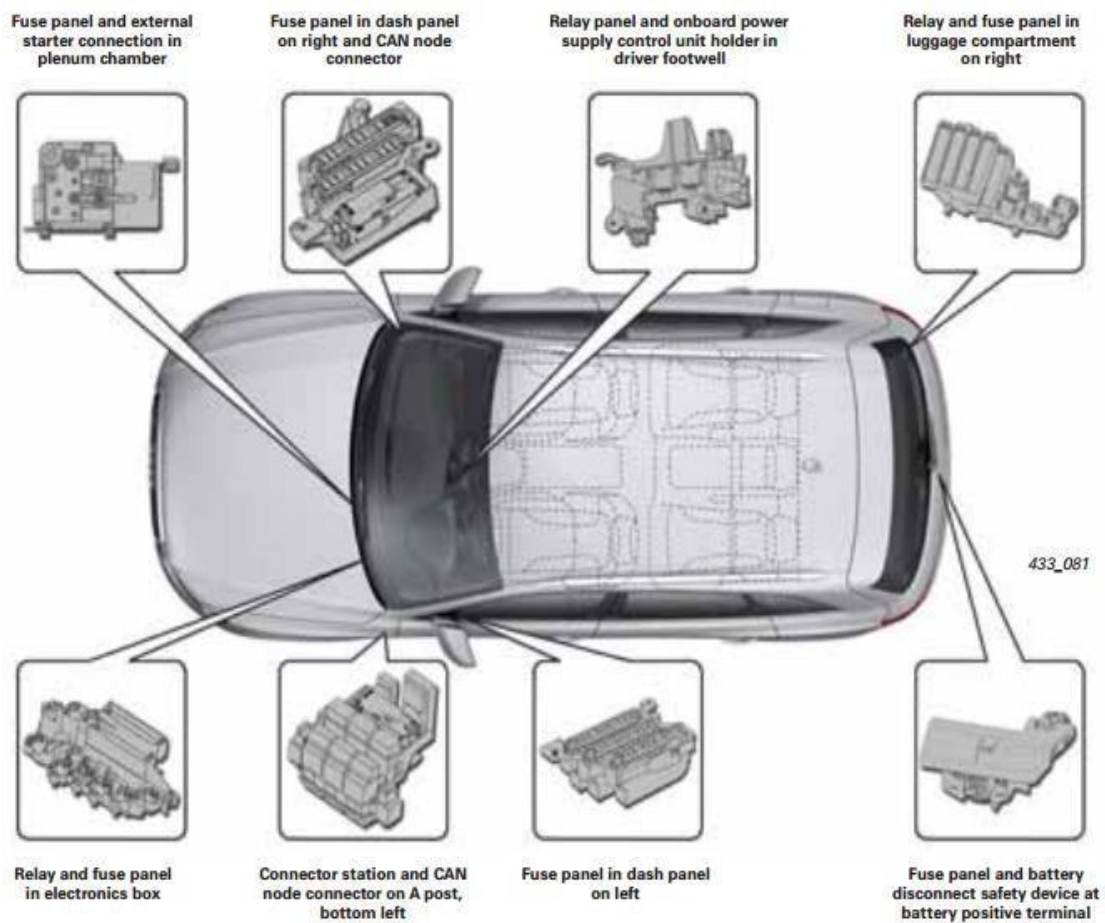
**Figura 13-2:** Módulos electrónicos posteriores

Fuente: Manual Audi Q5 2012

### Conectores de las unidades de control

En la figura 14-2 se indican las ubicaciones de instalación de las cajas de fusibles y paneles de relés, los conectores del nodo CAN y las unidades de control.





**Figura 14-2:** Cajas de fusibles, paneles de relés, y conectores del nodo CAN y unidades de control

Fuente: Manual Audi Q5 2012

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las mediciones realizadas son parte importante en el proceso de comprobación y efectividad de trabajo para cada componente de las redes, en este caso red CAN y red LIN. La comprobación del sistema multiplexado toma en cuenta los valores nominales que se señalan en el Manual del Audi Q5 2012, estos valores son referenciales del fabricante, en este análisis se señala que tanto los valores teóricos y prácticos debe ser iguales o semejarse para un correcto desempeño del vehículo, no obstante también se indica que el valor teórico debe considerar un margen de error tomando en cuenta muchos aspectos como el lugar donde entra en funcionamiento el vehículo, ya indican un patrón según la región o país que se encuentre.

#### 3.1. Valores nominales de redes multiplexadas

Tabla del manual de los buses con las velocidades de transmisión para hacer la comparación según el Manual técnico del Audi Q5 2012.

La siguiente tabla indica el rango de valores prácticos utilizando el osciloscopio para los módulos pertenecientes a la red CAN,

**Tabla 1-3:** Valores de la velocidad de transmisión de datos de la red CAN

UNIDAD DE CONTROL	PIN H	PIN L	TENSIÓN RECESIVA CAN H	TENSIÓN RECESIVA CAN L	TENSIÓN DOMINANTE CAN H	TENSIÓN DOMINANTE CAN L	TIEMPO DE BIT (us)	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE DATOS (kbit/s)	
ABS	J104	26	14	2.5	2.5	3.5 - 3.8	1.5 - 1.2	2.63312	379.77
Puerta conductora	J386	27	2	0	5	4	1	11.1176	98.94747
Motor	J623	13	14	2.5	2.5	3.5	1.5	1.9847	503.8544
Maletero	J605	20	19	0	5	4	1	10.5325	94.9492

Realizado por: LÓPEZ, Jenny, 2021

La siguiente tabla indica el rango de valores teórico para el módulo de control para puerta posterior con red LIN, según el Manual técnico del Audi Q5 2012.

**Tabla 2-3:** Valores de la velocidad de transmisión de datos de la red LIN BUS

UNIDAD DE CONTROL		TENSIÓN RECESIVO	TENSIÓN DOMINANTE	TIEMPO DE BIT (US)	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE DATOS (KBIT/S)
Puerta posterior	J388	11.5	1	56.12	17.818

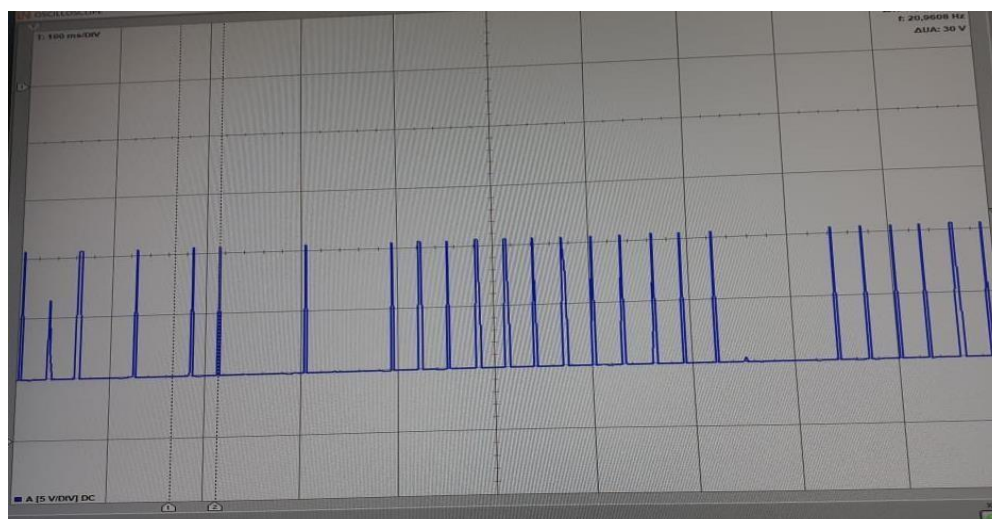
Realizado por: LÓPEZ, Jenny, 2021

### 3.1.1 Protocolo LIN BUS

En los siguientes módulos que se detallan se realiza el análisis de transmisión de datos, por medio del osciloscopio para así obtener el tiempo de bit y realizar el cálculo de la velocidad de transmisión de datos. Los módulos están conectados por medio de un cable, la identificación se la realiza tomando como característica el color, en los mencionados módulos es violeta.

#### - Unidad de control de elevavidrios

Se realiza el análisis mediante la trama y señal de onda que se observa en el gráfico 1-3, en color azul se indica la onda utilizada en la red LIN la cual funciona a un voltaje recesivo de 11.5V y un voltaje dominante de 1V lo cual indica un correcto estado de comunicación. El tiempo del bit es 56.12  $\mu$ s y el resultado del cálculo para la velocidad de transmisión del módulo puerta posterior es de 17.818 kbit/s.



**Gráfico 1-3:** Señal de la red de comunicación del módulo de control del elevavidrios

Realizado por: LÓPEZ, Jenny, 2021

## Unidad de control de los espejos retrovisores

Se realiza el análisis mediante la trama y señal de onda que se observa en el gráfico 2-3, en color azul se indica la onda utilizada en la red LIN la cual funciona a un voltaje recesivo de 1V y un voltaje dominante de 2V lo cual indica un correcto estado de comunicación. El tiempo del bit es 55.79  $\mu$ s y el resultado del cálculo para la velocidad de trasmisión del módulo puerta posterior es de 17.9244 kbit/s.



**Gráfico 2-3:** Señal de Unidad de control de retrovisores

Realizado por: LÓPEZ, Jenny, 2021

La transmisión de datos por medio de bus LIN utiliza un módulo maestro el cual envía una señal al módulo esclavo y así entra en funcionamiento. Tras haber realizado el análisis de cálculos se determina que el módulo control de la fuente de alimentación a bordo J519 es la unidad maestra, y los módulos sensor de calidad del aire G238, control de ventilación del asiento delantero derecho J799, transmisor de presión / temperatura del refrigerante G395, control de ventilación del asiento delantero izquierdo J800, control de operación de puerta de garaje J530, interruptor de carisma E592, interruptor de luz E1, control del motor del limpiaparabrisas J400, sensor detector de lluvia y luz G397, son unidades esclavas.

Así mismo el módulo de control central del sistema de confort J393 es unidad maestra, y las unidades de control de bloqueo de columna de dirección eléctrica J764, interruptor de autorización de entrada y arranque E415, mando para puerta de garaje E284, control de techo corredizo J245, control de persiana enrollable para techo solar J394, sensor del sistema de alarma antirrobo G578, transmisor de humedad G355 y bocina de alarma H12, son unidades esclavas.

También el módulo de control de regulación de la batería J840 es la unidad maestra, y el ventilador de la batería y el motor de control de posicionamiento de la puerta de recirculación de la batería híbrida son las esclavas.

Cabe mencionar que todos los módulos maestros están conectados por medio de la red CAN bus hacia la interface de diagnóstico J533.

### **3.1.2 Protocolo CAN BUS**

En los siguientes módulos que se detallan se realiza el análisis de transmisión de datos, por medio del osciloscopio para así obtener el tiempo de bit y realizar el cálculo de la velocidad de transmisión de datos.

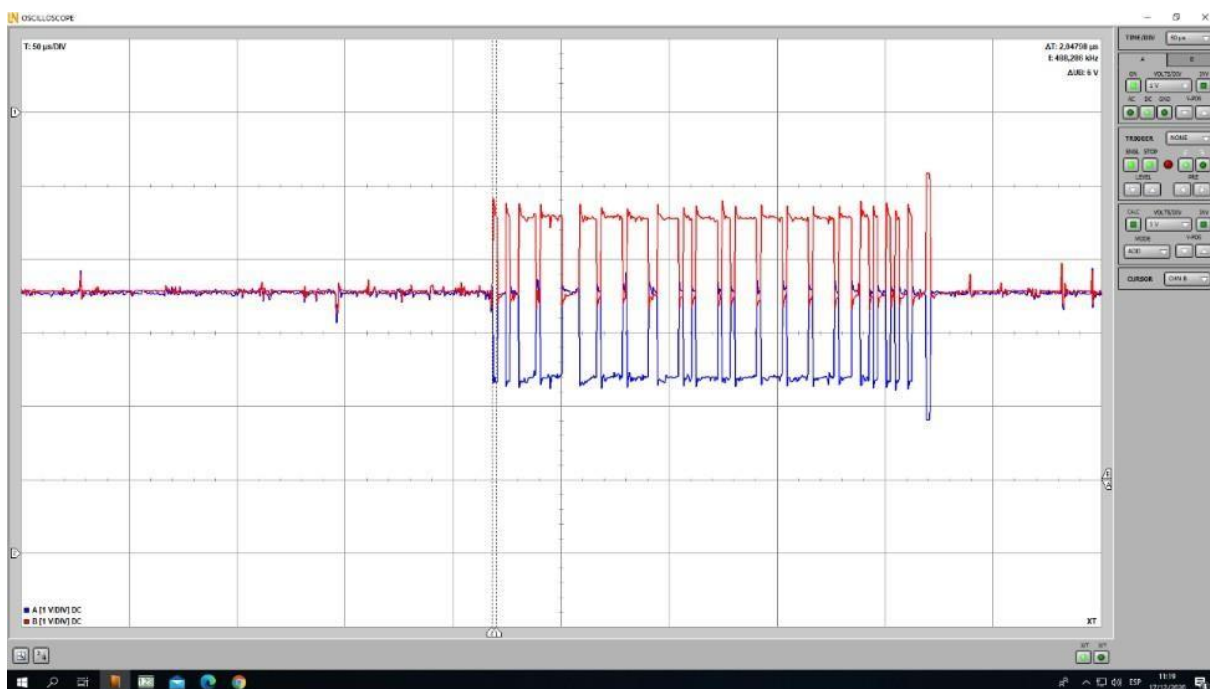
Los módulos están conectados por medio de dos cables entrelazados que transmiten la información de manera bidireccional.

#### **3.1.2.1 BUS CAN del tren motriz**

##### **Unidad de control del motor**

Se realiza el análisis mediante la trama y señal de onda que se observa en la Gráfico 3-3, se indica en color rojo la onda CAN H y en color azul la onda CAN L, los valores dominantes son CAN H=3.5 y CAN L=1.5, dando una diferencia de 2V lo cual indica un estado correcto; los valores del recesivo son CAN H=2.5 y CAN L=2.5, dando una diferencia de 0V lo cual indican estado correcto. El tiempo del bit es 1.9847  $\mu$ s y el resultado del cálculo para la velocidad de transmisión del módulo del motor es de 503.8544 kbit/s.

Con estos datos se determina que la red utilizada para el módulo de control del motor es bus CAN de alta velocidad con estándar ISO 11898.



**Gráfico 3-3:** Sistema de comunicación de la unidad de control del motor

Realizado por: LÓPEZ, Jenny, 2021

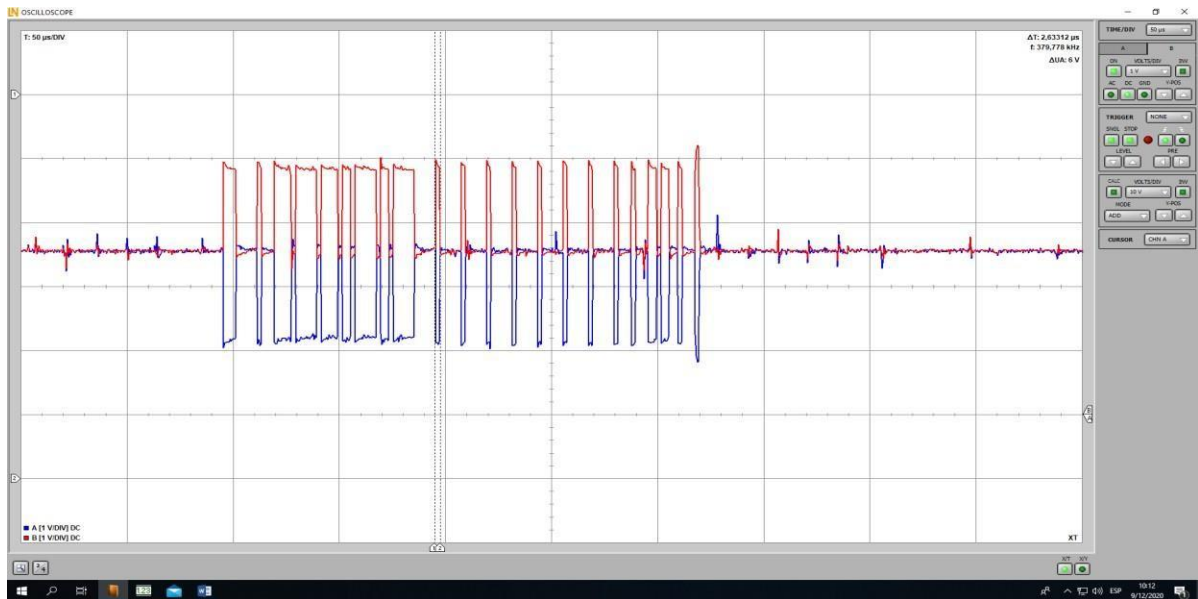
Los módulos de control del motor J623, control de airbag J234, control de caja de cambios automática J217, control ECD (amortiguación controlada electrónicamente) J250 y control de alcance de faros J745, están comunicados al interfaz de diagnóstico del bus de datos J533 por medio de la red CAN BUS de alta velocidad.

### 3.1.2.2 BUS CAN del tren de rodaje

#### - Unidad de control de ABS

Se realiza el análisis mediante la trama y señal de onda que se observa en el Gráfico 26, se indica en color rojo la onda CAN H y en color azul la onda CAN L, los valores de tensión dominantes son CAN H=3.5 y CAN L=1.5, dando una diferencia de 2V lo cual indica un estado correcto; los valores de tensión recesivo son CAN H=2.5 y CAN L=2.5, dando una diferencia de 0V lo cual indican estado correcto. El tiempo de bit es 2.458321  $\mu$ s y el resultado del cálculo para la velocidad de transmisión del módulo ABS es de 406.781702 kbit/s.

Con estos datos se determina que la red utilizada para el módulo de control de ABS es bus CAN de alta velocidad con estándar ISO 11898.



**Gráfico 4-3:** Línea de comunicación de la unidad de control del ABS

Realizado por: LÓPEZ, Jenny, 2021

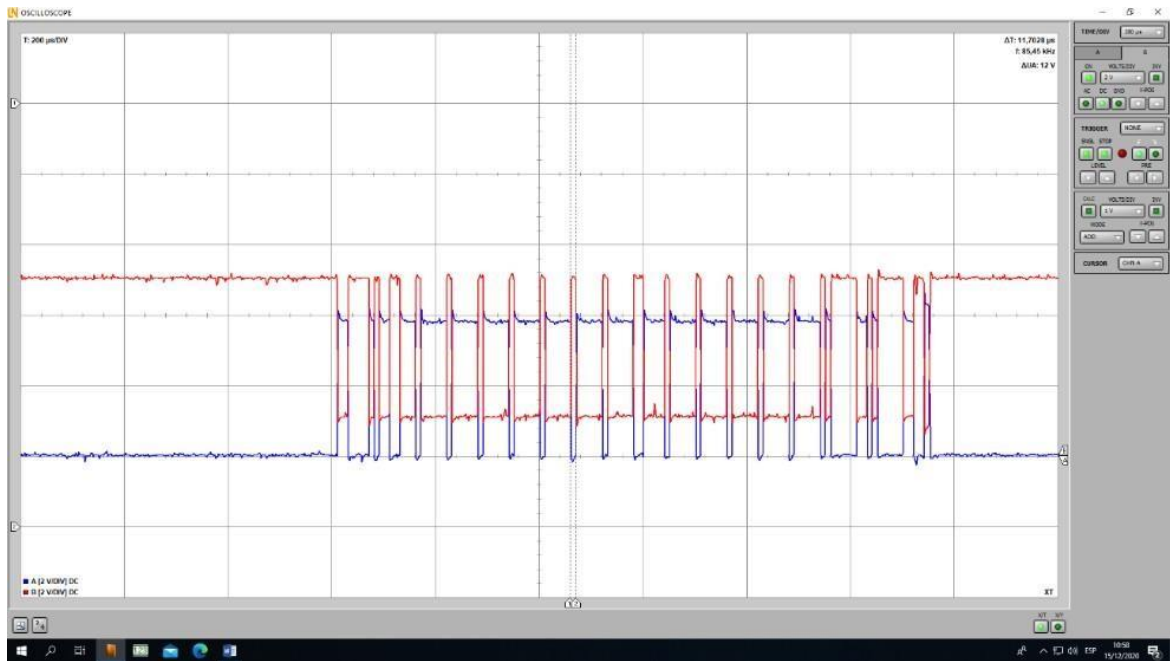
Los módulos de control de asistencia de estacionamiento en paralelo J791, sensor de ángulo de dirección G85, control de calefacción adicional J364, control de ABS/ESP J104, control de dirección activa J792, control de las ruedas motrices J492, control del tablero de instrumentos J285 y control del freno de estacionamiento J540, están comunicados con la interfaz de diagnóstico del bus de datos J533 a través de red de comunicación CAN de alta velocidad.

### 3.1.2.3 CAN BUS DE CONFORT

#### Unidad de control de puerta del conductor

Se realiza el análisis mediante la trama y señal de onda que se observa en el Gráfico 5-3, se indica en color azul la onda CAN H y en color rojo la onda CAN L, los valores dominantes son CAN H=4 y CAN L=1, dando una diferencia de 3V lo cual indica un estado correcto; los valores del recesivo son CAN H=0 y CAN L=5, dando una diferencia de 5V lo cual indican estado correcto. El tiempo de bit es 11.1176 µs y el resultado del cálculo para la velocidad de trasmisión del módulo control de puerta del conductor es de 98.94747 kbit/s.

Con estos datos se determina que la red utilizada para el módulo de puerta del conductor es bus CAN de baja velocidad con estándar ISO 11519.



**Gráfico 5-3:** Línea de comunicación de la unidad de control de la puerta del conductor

Realizado por: LÓPEZ, Jenny, 2021

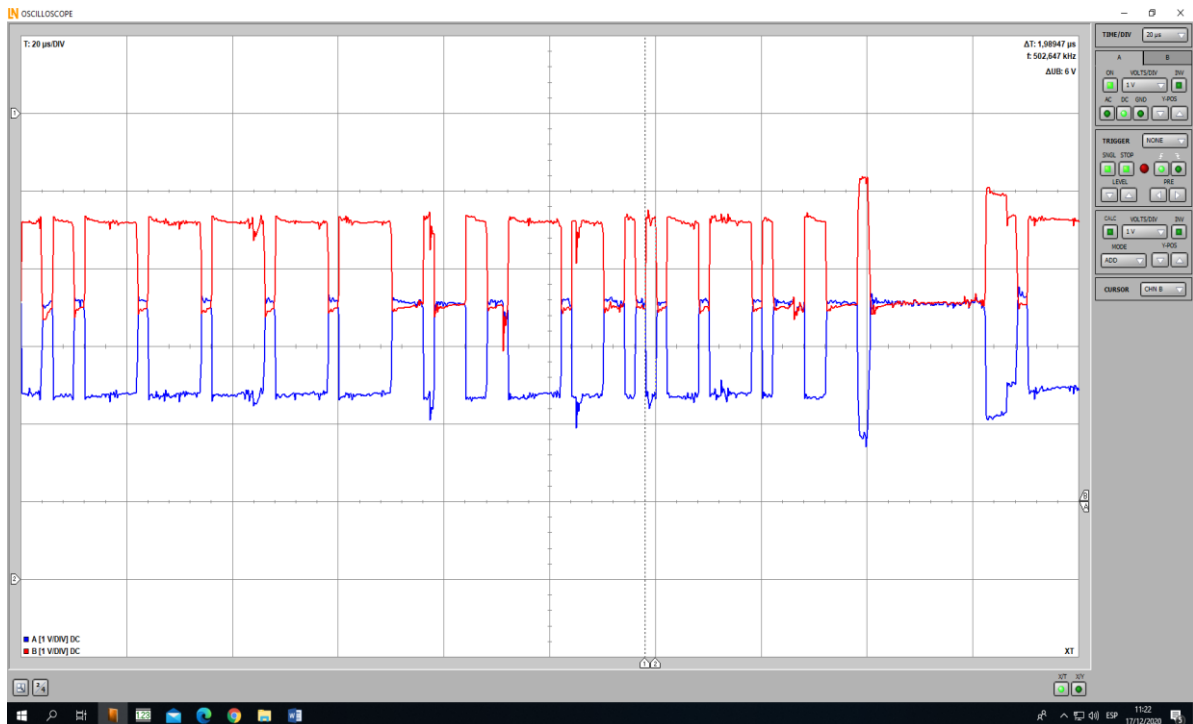
Los módulos de control de la columna de dirección J527, centralita regulación asiento y columna de dirección con memoria J136, control de detector de remolque J345, control del sistema de cámara trasera J772, control de puerta del conductor J386, control de puerta delantera del pasajero J387, control eléctrico del vehículo J519, control central del sistema de confort J393 y control de clima J255, están comunicados con la interfaz de diagnóstico del bus de datos J533 a través de red de comunicación CAN de baja velocidad.

#### 3.1.2.4 CAN BUS extendido

Se realiza el análisis mediante la trama y señal de onda que se observa en el Gráfico 28, se indica en color rojo la onda CAN H y en color azul la onda CAN L, los valores de tensión dominantes son CAN H=3.5 y CAN L=1.5, dando una diferencia de 2V lo cual indica un estado correcto; los valores de tensión recesivo son CAN H=2.5 y CAN L=2.5, dando una diferencia de 0V lo cual indican estado correcto. El tiempo de bit es 2.63312 µs y el resultado del cálculo para la velocidad de transmisión es de 379.77 kbit/s.

Con estos datos se determina que la red utilizada es bus extendido CAN de alta velocidad con estándar ISO 11898.





**Gráfico 6-3:** Línea de comunicación CAN BUS extendido

Realizado por: LÓPEZ, Jenny, 2021










Los módulos de control de crucero adaptativo J428, control del sistema de alerta de cambio de carril J759, control de asistencia de faros J844 y control de asistente de cambio de carril J769, están comunicados con la interfaz de diagnóstico del bus de datos J533 a través de red de comunicación CAN extendido de alta velocidad.

### 3.1.3 INFOTAINMENT

La transferencia de datos de infoentretenimiento se realiza a través de un CAN bus de alta velocidad de datos debido a que la velocidad de transferencia es de 1 Mbit/s para transmitir una señal de TV digital con sonido estéreo. Los módulos de control del paquete digital de sonido J525, radio R, sintonizador de TV R78, reproductor multimedia en la posición 1 R118, y control de electrónica de información J794, están comunicados con la interfaz de diagnóstico del bus de datos J533.

#### Velocidades de transmisión de datos

Los datos que muestra el manual del fabricante en la figura 1-3 son similares a los que se obtuvo de manera práctica, la variación que se presenta es debido a la falta de precisión en las herramientas utilizadas para el análisis de señales y tramas en las redes multiplexadas.

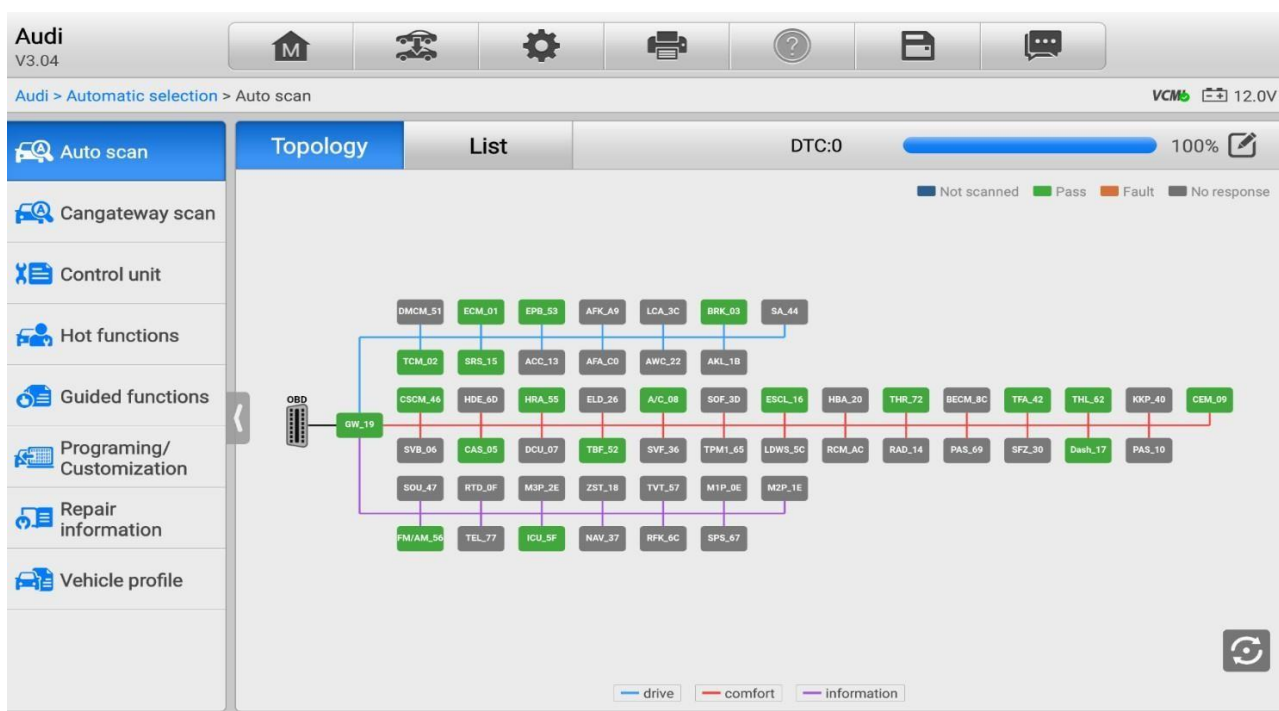
Bus system	Cable colour	Type	Data transmission rate
Drivetrain CAN		Electrical two-core bus system	500 kbit/s
Comfort/convenience CAN		Electrical two-core bus system	500 kbit/s
Extended CAN		Electrical two-core bus system	500 kbit/s
Display and control CAN		Electrical two-core bus system	500 kbit/s
Diagnosis CAN		Electrical two-core bus system	500 kbit/s
FlexRay		Electrical two-core bus system	10 Mbit/s
MOST bus		Fibre-optic bus system	22.5 Mbit/s
LIN bus		Electrical single-core bus system	20 kbit/s
Sub-bus system		Electrical two-core bus system	500 kbit/s

**Figura 1-3:** Velocidades de transmisión de datos según el fabricante.

Fuente: Manual Audi Q5 2012

### 3.1.4 Topología del sistema multiplexado

El vehículo Audi Q5 2012 presenta un sistema complejo de comunicación con varias unidades electrónicas que precisan intercambiar información con los demás componentes como muestra la figura 30-3, que contiene la topología del sistema de red multiplexada siendo la interfaz del bus de datos J533, Gateway, tiene una salida al puerto de diagnóstico OBD II donde por medio de un escáner automotriz se diagnostica el estado de funcionamiento electrónico del vehículo. Además, la interfaz J533 recibe información de los módulos electrónicos del motor (ECM), de la transmisión (TCM), ABS, del Sistema de Retención Suplementario (SRS), freno de estacionamiento eléctrico (EPB) a través de una red CAN de alta velocidad; los módulos electrónicos del aire acondicionado, el panel de instrumentos y puerta del conductor se comunica a través de una red CAN de baja velocidad. Las unidades de control de los elevavidrios y espejos retrovisores intercambian información mediante la red LIN BUS. Cabe mencionar también que el estado funcional de estas redes según el análisis realizado, mantiene un rango de funcionamiento normal.



**Figura 2-3:** Topología sistema multiplexado AUDI Q5

Realizado por: LÓPEZ, Jenny, 2021

### 3.2. Análisis de la codificación de la trama del sistema multiplexado

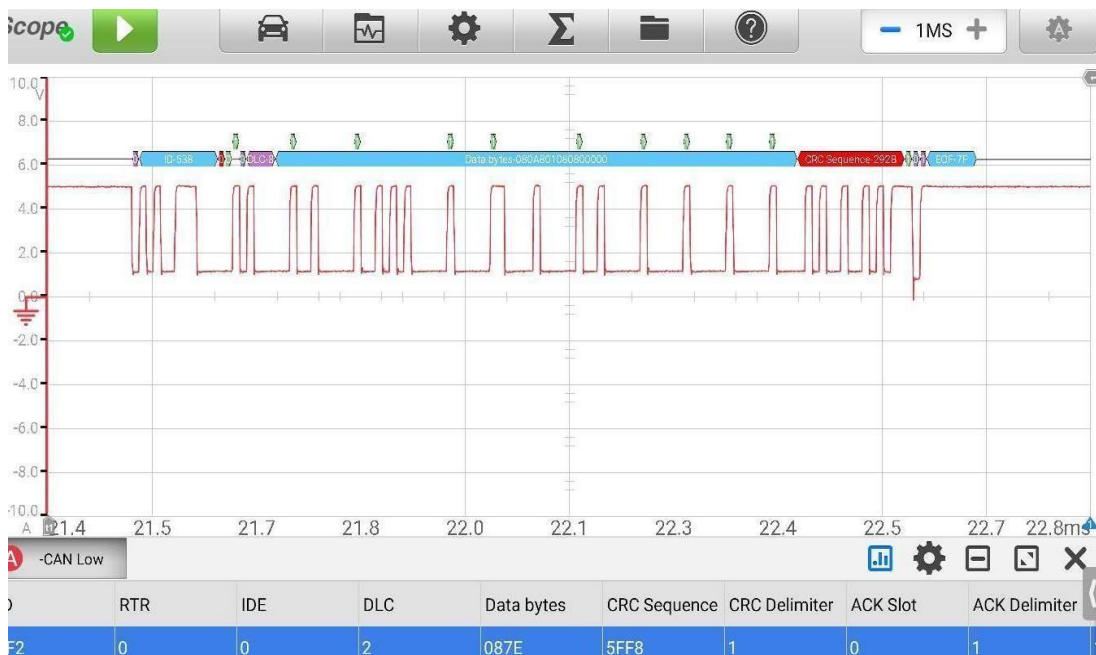
Para realizar la decodificación de la trama se utilizó el scanner MaxiSys Ultra de la marca AUTEL, el equipo se conecta a través de un puerto USB para acceder a las líneas de comunicación del vehículo mediante sus respectivos pines de conexión de los distintos módulos, la opción osciloscopio del menú de medición permite visualizar la red de comunicación.

La velocidad de transmisión de datos obtenidos con anterioridad y el tipo de red de comunicación son primordiales ya que para decodificar las tramas se utilizan como datos de entrada. Así como también el umbral que es un parámetro que indica la media entre el voltaje más alto y bajo de la trama; el sistema de comunicación que se utilizó fue el hexadecimal.

#### 3.2.1 Análisis de la decodificación CAN BUS

Todo protocolo va a actuar como un lenguaje de comunicación entre los diferentes submódulos del vehículo que se encuentran distantes entre sí. Para obtener la decodificación se conecta el osciloscopio al módulo de control de la puerta del conductor J383 a través de los pines 2 y 27, una vez seleccionada la opción de ajustes de decodificación se ingresó datos como:

- Velocidad de transmisión de datos: 100000 bps
- Nombre del protocolo: CAN Low
- Umbral: 2.4063 voltios



**Gráfico 7-3:** Decodificación de la trama CAN BUS

Realizado por: LÓPEZ, Jenny, 2021

**Tabla 3-3:** Decodificación de la red de comunicación CAN BUS

Nombre del campo	Sistema Hexadecimal	Sistema Binario	Longitud (bits)
INICIO	0	0	1
ID	538	10100111000	11
RTR	0	0	1
IDE	0	0	1
DLC	8	1100100	64
CRC	292B	10100100101011	14
Delimitador CRC	1	1	1
ACK	0	0	1
Delimitador ACK	1	1	1
EOF	7F	1111111	7

Realizado por: LÓPEZ, Jenny, 2021

En la figura se puede observar la decodificación de la trama en formato hexadecimal en la que consta de campo de inicio (SOF) con un bit dominante para así sincronizar los módulos de control conectados e indica el inicio de la transmisión de datos, la identificación de la trama (ID) determina la prioridad de los datos y consta de 11 bits, seguido de este hay un bit que no se utiliza, para la petición de transmisión remota (RTR) tiene 1 bit dominante para trama de datos si el bit

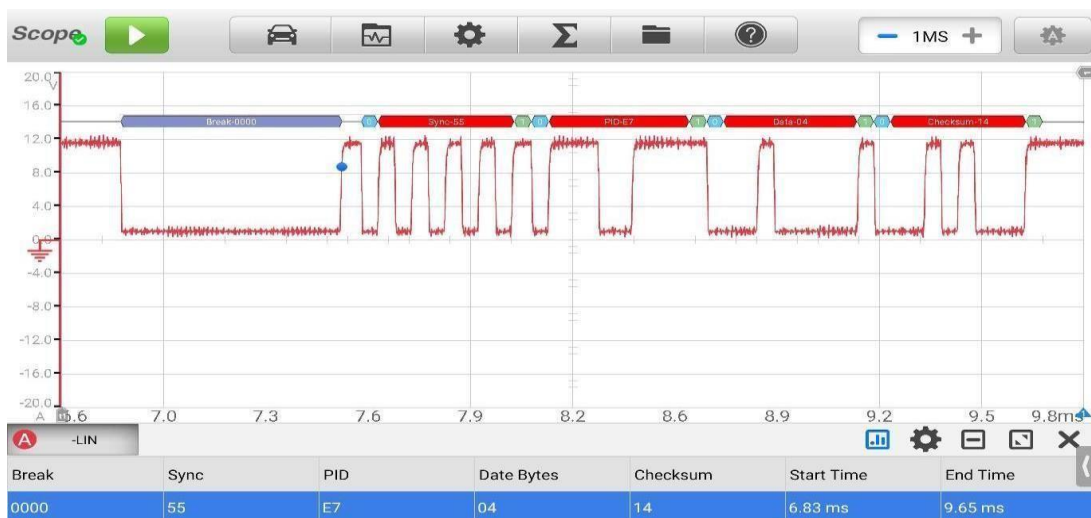
fuese recesivo indica que es para peticiones remotas, el campo de datos (DLC) muestra el número de octetos de información que contiene, el campo de seguridad (CRC) identifica las perturbaciones en la transmisión consta de 16 bits siendo 1 bit el delimitador CRC recesivo y 1 bit reservado; el campo de confirmación consta de 2 bits y uno de ellos es un bit recesivo el cual será el delimitador de este campo, fin de la trama (EOF) con 7 bits seguido de este hay 3 bits recesivos como separadores de la trama.

La decodificación total de esta trama expresada en código binario es: 0101001110000011001001001001010111011111111, es decir durante esta trama transmite alrededor de 16863234 de datos.

### 3.2.2 Decodificación LIN BUS

Se conecta el osciloscopio al módulo de control de los espejos retrovisores, una vez seleccionada la opción de ajustes de decodificación se ingresó datos como:

- Velocidad de transmisión de datos: 20000 bps
- Nombre del protocolo: LIN
- Umbral: voltios



**Gráfico 8-3:** Decodificación de la trama LIN BUS

Realizado por: LÓPEZ, Jenny, 2021

**Tabla 4-3:** Decodificación de la red de comunicación LIN BUS

Nombre del campo	Sistema Hexadecimal	Sistema Binario	Longitud (bits)
Break	00000000000000	0	13
Sync	55	10000001011	11
ID	E7	11100111	8
Data Bytes	04	110010	32
Checksum	14	10100	14

Realizado por: LÓPEZ, Jenny, 2021

La trama LIN BUS transmite los datos de tres maneras: marcos incondicionales, activadas por eventos y tramas esporádicas. El módulo de control de los espejos retrovisores envían información únicamente cuando se activan como muestra en la figura 8-3, determinado por dos partes principales encabezado y mensaje; break consta de 13 bits recesivos que son limitados por un bit dominante siendo el marco de inicio de la trama, sincronización con 0x55 bits este campo determina la velocidad de transmisión que utiliza el maestro siendo útil para la compatibilidad con los nodos esclavos estándar. El campo de identificación tiene 6 bits que contiene información sobre el remitente y receptos, además de 2 bits de paridad; el campo de datos posee 8 bytes de longitud siendo el mensaje que envía al maestro y finalmente la suma de verificación consta de 14 bits, estás se encuentran en un rango de 0 a 59 bits, este campo protege los datos del identificador y los datos útiles para la transmisión o recepción de datos.

## CONCLUSIONES

- A través de la revisión teórica y bibliográfica se ha logrado identificar la utilidad que brinda el sistema multiplexado en los vehículos, además de las ventajas que ofrece frente a los sistemas convencionales. En la actualidad el sistema multiplexado es una tecnología de comunicación y transferencia de datos en el sistema automotriz, maximizando la eficiencia en cada uno de las unidades de control electrónico y periféricos del automóvil.
- Con el análisis realizado del vehículo Audi Q5 2012, se ha podido comprender la complejidad del sistema como tal y sus funciones, se ha determinado entonces que el vehículo Audi Q5 2012 presenta un sistema complejo de comunicación con redes CAN y LIN, los módulos de frenos ABS y control del motor operan con la red CAN de alta velocidad y los módulos de puerta del conductor y cajuela menos importantes que los mencionados funcionan con una red CAN de baja velocidad. Además, en cuanto al módulo de la puerta posterior utiliza una red LIN con velocidad de transmisión de datos baja.
- Con respecto al análisis comprobatorio los valores obtenidos no tuvieron mayor diferencia con los valores teóricos representados en el Manual del Audi Q5 2012, entonces se determina que el estado funcional de estas redes mantiene un rango de funcionamiento normal.
- La decodificación de la trama permite identificar posibles anomalías procedentes del hardware o software del vehículo.
- El manual del fabricante detalla que la velocidad de transmisión de datos de una red CAN de alta velocidad es de 500 kbit/s; para una red CAN de baja velocidad, 100 kbit/s y para la red LIN es de 20 kbit/s mientras que esta obtenida mediante la utilización de equipo de diagnóstico fue 503 kbit/s para la red CAN de alta velocidad; 98 kbit/s para una red CAN de baja velocidad y para la red LIN de 17 kbit/s.

## **RECOMENDACIONES**

- Para el acceso a la red del sistema multiplexado se lo realiza a través del pin número 7 del conector de diagnóstico.
- Para comprobaciones y análisis futuros se recomienda tener en cuenta el manual del vehículo a analizar pues es relevante para obtener datos objetivos y validados.
- Para la obtención de datos reales se precisa la utilización de equipos de diagnóstico adecuado y en perfecto estado.



## GLOSARIO

**Arnés:** Armadura o conjunto de piezas defensivas aseguradas con correas y hebillas (Schuster 2021).

**Asincrónica:** No simultáneo o no coincidente. También es proceso comunicativo que se lleva a cabo sin coincidencia temporal. Esto quiere decir que la emisión y la recepción de los mensajes están separadas por un cierto periodo de tiempo (Sanchez 2020).

**Índice de refracción:** Es el cociente de la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio (Westreicher 2020).

**Interfaz:** Es la conexión física y funcional que se establece entre dos aparatos, dispositivos o sistemas que funcionan independientemente uno del otro (Manual Audi Q5 2012).

**Multiplexado:** Es una forma de enviar múltiples señales o flujos de información a través de un enlace de comunicaciones al mismo tiempo en forma de una única y compleja señal (Velástegui, 2016).

**Nodo:** Es un punto de intersección, conexión o unión de varios elementos que confluyen en el mismo lugar (Schuster 2021).

**Protocolo:** Conjunto de reglas que rigen el intercambio de informaciones entre dos equipos o entre dos sistemas conectados entre sí (Chávez & Orozco, 2010).

**Topología:** Es un mapa físico o lógico de una red para intercambiar datos. Es la forma en que está diseñada la red, sea en el plano físico o lógico (Teseomotor, 2013).

**Trama:** Es una unidad de envío de datos. Es una serie sucesiva de bits, organizados en forma cíclica, que transportan información y que permiten en la recepción extraer esta información (Velástegui, 2016).

## BIBLIOGRAFÍA

**ALSINA CAMBLOR, Roberto Manuel & LOPRESTI PEÑAFIEL, Gian Franco.** Análisis de un sistema multiplexado de un vehículo Peugeot 308 t9 [en línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado) Universidad Técnica Federico Santa María, Técnico Universitario en Mecánica Automotriz, Chile, Viña del Mar. 2017. [Consulta: 2020-07-15]. Disponible en: <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/43890>

**ARIAS ODÓN, F. G.** *El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica.* 6ª ed. Caracas- República Bolivariana de Venezuela: Episteme, 2016, pp. 18-35.

**ÁVALOS MARTIN, José L.** *Protocolo MOST, la información se acelera.* [blog]. [Consulta: 14 mayo 2020]. Disponible en: <https://12vpersonalcar.com//art/7720/protocolo-most-la-informacion-se-acelera>

**AVIÑA BÁEZ, Martin M.** *AUDI Q5 specs & photos—2012, 2013, 2014, 2015, 2016.* *Autoevolution.* [blog]. [Consulta: 4 junio 2020]. Disponible en: <https://www.autoevolution.com/cars/audi-q5-2012.html>

**CARPIO GUARTAMBEL, Christopher Paúl & TORRES MOSCOSO, Francisco.** Manual de procedimientos para interactuar entre protocolos de comunicación automotriz [en línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniero en Mecánica Automotriz, Azuay - Ecuador. 2013. [Consulta: 2020-10-15]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/2210>

**CARRILLO RUIZ, E. R.** "Lo cualitativo en la investigación y su actualidad". *Psicología para América Latina*, [en línea], 2004, (México) 1(2), [Consulta: 14 agosto 2020]. ISSN 1870-350X. Disponible en: [http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1870-350X2004000200003&lng=pt&nrm=iso&tlng=es](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1870-350X2004000200003&lng=pt&nrm=iso&tlng=es)

**CHÁVEZ BALSECA, Edwin Fernando, & OROZCO DONOSO, David Sebastián.** Construcción de un prototipo de control inteligente de accesorios mediante un sistema multiplexado de un vehículo Citroën c3. [en línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado) Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga, Facultad Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz, Ecuador, Latacunga. 2010. [Consulta: 2020-08-11]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2873>.

**ELECTRONICS, C. S. S.** *LIN Bus Explained—A Simple Intro (2021)* [blog]. [Consulta: 16 junio 2020]. Disponible en: <https://www.csselectronics.com/screen/page/lin-bus-protocol-intro-basics>

**ENGINEER AMBITIOUSLY.** *Sistemas de Pruebas y Medidas Automatizados* [blog]. [Consulta: 16 julio 2020]. Disponible en: <https://www.ni.com/es-cr.html>

**FERNÁNDEZ GARCÍA, Humberto José, & APIDI RODAS, Mario David.** Diseño y construcción de un sistema bluetooth para adaptar equipos alámbricos a una configuración inalámbrica. [en línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Quito, Ecuador. 2008. [Consulta: 2020-11-15]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1034>

**FIGUEROA PEÑAFIEL, Henry Javier.** Estudio y análisis del sistema multiplexado del vehículo híbrido Toyota Prius [en línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Internacional del Ecuador, Facultad en Mecánica Automotriz, Escuela de Ingeniería en Mecánica Automotriz, Guayaquil, Ecuador. 2015. [Consulta: 2020-07-10]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/840>

**GARCÍA CALLE, Héctor Fabián, & FERNÁNDEZ PALOMEQUE, Efrén.** Implementación de un modelo de protocolo CAN en un automóvil Volkswagen Jetta 2009 mediante Simulink [en línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador. 2020. [Consulta: 2020-10-20]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9726>

**GONZÁLEZ FILGUEIRA, Gerardo, & FERNÁNDEZ VIANA, Orlando.** "Sistema multiplexado en un Bus CAN aplicado a una carrocería de autobús". SAAEI '16: XXIII Seminario Anual de Automática [en línea], 2016, (Argentina),1(2), [Consulta: 20 marzo 2020]. ISSN 1090-4787 Disponible en: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1108.1204>

**HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto; et al.** *Metodología de la Investigación* [en línea], 6ª, Santa fe-México: McGRAW-HILL/INTERMERICANA, 2014. [Consulta: 20 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

**HU, Yinlong; et al.** "Multiplexed model predictive control for active vehicle suspensions". *International Journal of Control* [en línea], 2015, (China) 88(2), pp.347-363. [Consulta: 25 septiembre 2020]. ISSN 0020-7179 Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00207179.2014.953589>

**HUAMÁN ARBOLEDA, Eddie Enrique, & SALTOS ZAMBRANO, Jorge Alberto.** (2018). Diseño e implementación de módulos didácticos con comunicación Bus-Can para los sistemas de luces y alarma de un automóvil moderno. [en línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Facultad Ingeniería Electrónica, Carrera Ingeniería Electrónica, Guayaquil, Ecuador. 2018. [Consulta: 2020-10-20]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16452>

**INGENIERIA AUTOAVANCE.** *Sistema de Red y Multiplexado. Curso Automotriz - Curso Virtual Automotriz - Capacitación Automotriz.* [blog]. [Consulta: 16 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/22-sistema-de-redes-y-multiplexado/>

**MECÁNICA EN ACCIÓN.** *Sistema de Multiplexado /.* [blog]. [Consulta: 6 julio 2020]. Disponible en: <https://www.mecanicaenaccion.com/uncategorized/sistema-de-multiplexado/>

**MURILLO ERAZO, Edgar Daniel.** Pruebas de funcionamiento y detección de fallas del sistema CAN en el cabezal SCANIA R420. [en línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Internacional Del Ecuador, Facultad de Ingeniería Automotriz, Carrera Ingeniería en Mecánica Automotriz, Guayaquil, Ecuador. 2017. [Consulta: 2020-05-21]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2022>

**NARANJO F., Erika C. & CERVEN C., Diego J.** Profibus Introducción de Procesos Industriales [blog]. [Consulta: 2 diciembre 2020]. Disponible en: <https://instrumentacionuc.wixsite.com/facultad-ingenieria/copia-de-devicenet>

**NOROÑA M, M. V., & GÓMEZ B, M. F.** "Desarrollo e innovación de los sistemas mecatrónicos en un automóvil: Una revisión". *Enfoque UTE* [en línea], 2019, (Ecuador) 10(1), [Consulta: 10 agosto 2020]. ISSN 117-127 Disponible en: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n1.350>

**OSTER, S. N; et al.** Waveguide couplers and junctions to enable frequency division multiplexed sensor systems in autonomous vehicle [en línea], 2019, (United States Patent N.º US10484120B2). [Consulta: 2020-08-21]. Disponible en <https://patents.google.com/patent/US10484120B2/en>

**PICO TECHNOLOGY.** *Bus de datos del vehículo (FlexRay)* [blog]. [Consulta: 17 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.picoauto.com/es/library/automotive-guided-tests/bus-de-datos-del-vehiculo-flexray/>

**SALAS ZÚÑIGA, Jairo Martín & TAPIA GUDIÑO, Fausto Eduardo.** Elaboración de un manual sobre el manejo del sistema de red en datos Can-Bus Peugeot 206. [en línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Técnica del Norte, Facultad en Ciencias Aplicadas, Carrera Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, Ibarra, Ecuador. 2016. [Consulta: 2020-10-21]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2022http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5544>

**SANCHEZ VELA, L. G; et al.** "Revisión documental del protocolo CAN como herramienta de comunicación y aplicación en vehículos" National Academy of Sciences. [en línea], 2016, (México) 8(474), [Consulta: 5 septiembre 2020]. ISSN 0188-7297 Disponible en: <https://trid.trb.org/view/1485917>

**TESEOMOTOR.** *Fallos OBD y OBD2, Guías Reparar Fallos OBD. Mecánica y tutoriales.* [blog]. [Consulta: 20 octubre 2020]. Disponible en: <https://teseomotor.com/can-bus-cables-de-datos-en-high-y-low/>

**VELASTEGUI ALMEIDA, Lenin Xavier.** Optimización del flujo de datos en un prototipo de red 6LowPAN con topología lineal [en línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Carrera Ingeniería Electrónica y Redes de Información, Quito, Ecuador. 2016. [Consulta: 2020-11-11]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15082>

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE VALENCIA.** Aprende conceptos acerca del multiplexado. [en línea], 2018 [Consulta: 2020-05-19]. Disponible en: <https://www.universidadviu.com/aprende-conceptos-acerca-del-multiplexado/>

## ANEXOS

### ANEXO A MÓDULO ABS



### ANEXO B CONECTOR MÓDULO ABS



*ANEXO C CONECTOR MÓDULO DE LA PUERTA DEL CONDUCTOR*



*ANEXO D UNIDAD DE CONTROL DEL PAQUETE DE SONIDO DIGITAL*



*ANEXO E Unidad de control del motor*



**ANEXO F UNIDAD DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE CONVENIENCIA**

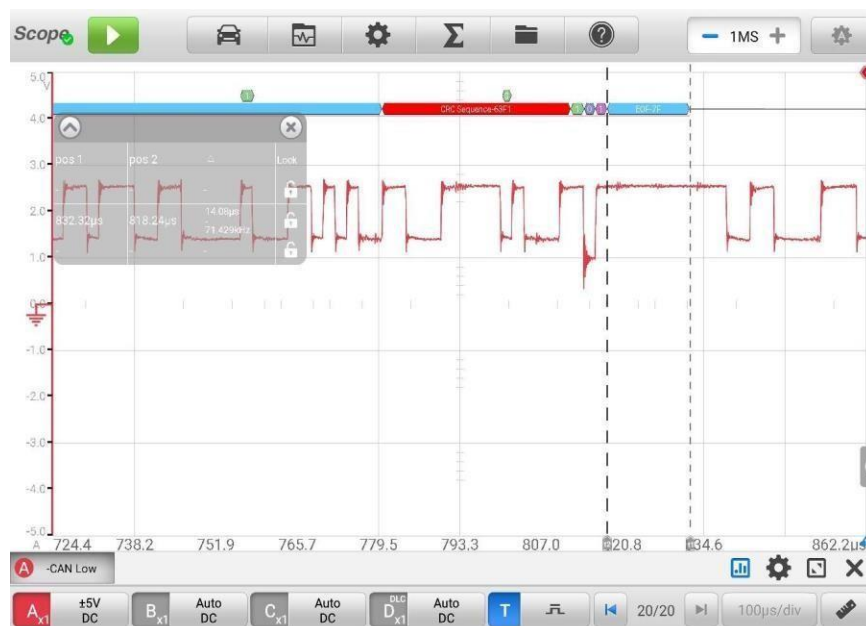




## ANEXO G OBTENCIÓN DE LAS SEÑALES DE LA UNIDAD DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE CONVENIENCIA



## ANEXO H DECODIFICACIÓN DE LA TRAMA DE LA UNIDAD DE CONTROL DEL MOTOR



## ANEXO I EQUIPO PARA LA DECODIFICACIÓN DE LAS TRAMAS DE COMUNICACIÓN



*ANEXO J EQUIPO PARA LA DECODIFICACIÓN DE LAS TRAMAS DE COMUNICACIÓN*

