

Trabajo JOSÉ SOLANO *por*

José Solano

Fecha de entrega: 13-oct-2021 07:20p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1673269371

Nombre del archivo: Investigaci_n_-_Solano_Cordova_Jos_Luis.pdf (562.55K)

Total de palabras: 6287

Total de caracteres: 33373

Adaptive capability of the Audi Q5 quattro to incorporate FlexRay technology from the BMW X5 (E70)

Capacidad adaptativa del Audi Q5 quattro para la incorporación de la tecnología FlexRay del BMW X5 (E70)

⁽¹⁾ Jose Solano

⁽¹⁾ solanoc.jose@gmail.com

Instituto Superior Tecnológico Central Técnico – Ecuador

RESUMEN

Hoy por hoy, y en un futuro, la transmisión de datos necesaria para que un automóvil opere dentro de ciertos estándares debe ser, sobre todo, rápida y precisa, en consecuencia, el protocolo de comunicación está obligado a ser especialmente seguro y, a la vez, más veloz que el tradicional CAN Bus, FlexRay cumple con estos preceptos.

En los diferentes apartados de la presente investigación se hace hincapié en los principales puntos a tomar en cuenta para plantearse la incorporación de FlexRay en el Audi Q5 Hybrid, enfatizando los potenciales beneficios para el SUV y los sistemas que se ven favorecidos gracias a la alta tasa de transmisión de datos que ofrece el protocolo.

Así mismo, son resaltadas las distintas interconexiones, a nivel básico, que precisan ser desarrolladas entre los nodos que interactúan con la ECU en la cual se incluye al protocolo FlexRay, tomando como base al vehículo BMW X5 (E7), a su vez, se toma otros modelos de Audi para ejemplificar la configuración de los buses de datos cuando se integra este protocolo.

Palabras clave— FlexRay, incorporar, velocidad de transmisión, interconexión,

esquemas, nodo, bus de datos.

ABSTRACT

Today, and in the future, the data transmission necessary for a car to operate within certain standards must be, above all, fast and accurate, consequently, the communication protocol is required to be especially safe and, at the same time, faster than the traditional CAN Bus, FlexRay meets these precepts.

In the different sections of this research emphasis is placed on the main points to consider when considering the incorporation of FlexRay in the Audi Q5 Hybrid, emphasizing the potential benefits for the SUV and systems that are favored thanks to the high rate of data transmission offered by the protocol.

Also, the different interconnections are highlighted, at the basic level, that need to be developed between the nodes that interact with the ECU in which the FlexRay protocol is included, based on the BMW X5 vehicle (E7), in turn, other Audi models are taken to configure the data buses when this protocol is integrated.

Index terms— FlexRay, incorporate, transmission speed, interconnection, schemas, node, and data bus.

1. INTRODUCCIÓN.

Las crecientes innovaciones destinadas a mejorar la eficiencia, la seguridad y el confort de los vehículos, ha llevado a la afiliación de cada vez más módulos electrónicos, que junto a diversos elementos de monitoreo, tienen como misión controlar el correcto funcionamiento de distintos aspectos y sistemas automotrices, debido a que: “Los nuevos sistemas de control de la suspensión y de la transmisión exigen una elevada velocidad de transferencia de datos para funcionar de manera eficaz.” (BMW, 2020).

Buscando cubrir las necesidades previamente mencionadas, muchas de las casas automotrices, desde un par de décadas atrás, han optado por incluir el protocolo de comunicación CAN Bus, y el LIN Bus como sub rama de este último, para llevar a cabo los distintos procesos lógicos relacionados con la transferencia de datos, no obstante, ambos protocolos cuentan con un límite de velocidad, siendo de 20 kbit/s en el caso del LIN Bus y de hasta 1Mb/s para el CAN Bus, provocando la deficiente operatividad de nuevas tecnologías que requieran una capacidad más elevada en la transmisión de información, así como la comunicación entre distintos elementos.

En consecuencia: “El sistema de comunicación no puede satisfacer las necesidades de estos nuevos sistemas debido a su ancho de banda limitado y señales de bus controladas por eventos, ya que solo se puede enviar un mensaje.” (Autodata Training, 2017), haciendo alusión a las cadencias presentes en el CAN Bus.

Por lo tanto, ya que el protocolo de comunicación CAN Bus dispone de características limitadas en cuanto a la velocidad y cantidad máxima de envío de datos, se han buscado nuevas alternativas para mejorar las prestaciones que pueda ofrecer un protocolo de comunicación, dando como resultado al sistema FlexRay, el cual: “(...), acelera la transferencia de datos entre los componentes del vehículo.” (BMW, 2020), ajustándose a las

demandas que un automóvil actual pretende conseguir de su sistema de bus de datos.

Teniendo en cuenta que el protocolo de comunicación FlexRay fue implementado por primera vez en un vehículo tipo SUV, el BMW de la serie E7, para mejorar aspectos de la, suspensión, carrocería y el tren motriz, y con esto obtener: “(...) una respuesta rápida a las asperezas de la carretera para lograr una conducción lo más suave posible.” (Reyes González, 2015), la siguiente investigación pretende explorar la posibilidad existente para incluir esta red multiplexada al Audi Q5.

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

En los siguientes apartados se demostrará como el protocolo de comunicación FlexRay podría llegar a ser adaptado en el vehículo Audi Q5, exhibiendo todos los beneficios y ventajas que traerían consigo la incorporación de este protocolo, ya sea en las comunicaciones o lo referente a seguridad, rendimiento y confort.

Adicionalmente, se busca encontrar similitudes con lo que respecta a las interconexiones del sistema de comunicación del Audi Q5 quattro con el bus de datos FlexRay del BMW X5 (E7), teniendo en cuenta la topología de red que maneja cada uno, para así valerse de aquella, o aquellas, que se acoplen mejor con el bus de datos propio del Audi Q5 quattro.

Si por el contrario, la adaptación es imposible de poner en marcha, mencionar los motivos por los cuales se daría esta situación, las consecuencias de forzar la instalación del protocolo en este automóvil y los riesgos que se correrían al ejecutar esta acción, todo esto apoyado con información, datos, gráficos y demás referencias obtenidas de manuales, documentos científicos y otras fuentes de información válida, comprobable y veraz.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Partiendo desde las bases previamente expuestas, la implementación teórica del protocolo FlexRay en el Audi Q5 quattro surgiría de examinar con detenimiento los siguientes puntos:

- FlexRay en el BMW E7.
- Principales diferencias entre FlexRay y Can Bus.
- Configuración de la red en el BMW E7 y el Audi Q5.
- Adaptabilidad en base a las propiedades de cada red.

3.1. FlexRay en el BMW E7

FlexRay fue presentado al mundo del automovilismo, de la mano de BMW, como una opción capaz de brindar mejoras a los vehículos tipo SUV, especialmente para optimizar el dominio del chasis y el tren motriz, ya que al ser automóviles grandes y pesados, resulta difícil tomar el control completo de los mismos, maniobrar fácilmente en situaciones o terrenos desfavorables para el conductor, sobre todo en aquellos con poca experiencia al volante.

Además, FlexRay, desde sus inicios fue combinado con la tecnología X-by-wire para dar asistencia electrónica a varios sistemas como lo son; la transmisión, la tracción, la dirección, los frenos y la suspensión, ya que estos: “ (...) tienen un impacto más fuerte en la estabilidad, agilidad y dinámica del vehículo, las funciones del chasis son más críticas desde el punto de vista de la seguridad.” (Zurawski, 2015), y FlexRay gracias a sus características posee la capacidad de administrar dichos puntos.

La Figura 1 representa gráficamente la unificación de FlexRay con X-by-wire para formar una red de alta velocidad que gestiona los principales sistemas del automóvil:

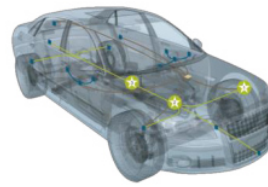


Figura 1: Aplicaciones típicas de FlexRay.
Fuente: NXP, 2006

FlexRay: “(...) se ha utilizado como control de bus para aplicaciones altamente dinámicas y control de chasis” (Gómez & Noroña, 2019), esto último gracias a la versatilidad proporcionada por parte del protocolo para ajustar la configuración de sus dos canales de comunicación según las necesidades y requerimientos del vehículo, sobre todo en los más actuales, que precisan aumentar la cantidad de unidades de control a su disposición, esto sin verse comprometido, ni ralentizado, el proceso de intercomunicación.

Además, ya que este protocolo es direccionado para fungir labor en conjunto con la tecnología X-by-wire, reemplazando partes mecánicas por electromagnéticas, gracias a esto, los beneficios que obtiene el automóvil son: “Parte del sistema de accionamiento por cable ni siquiera necesita mantenimiento durante décadas, lo que da como resultado un menor peso y una mayor precisión que al final aumentan la eficiencia del combustible y menos emisiones.” (Goyal & Takur, 2019).

3.2. Principales diferencias entre FlexRay y CAN Bus

Las propiedades que se le atribuyen al protocolo de comunicación FlexRay se deben principalmente a la composición estructural del mismo, los elementos más importantes para su funcionamiento son: un microcontrolador encargado especialmente del intercambio de información y el control de las distintas funciones del sistema(1), también cuenta con un Communication Controller (CC) enfocado en administrar el proceso de comunicación(2), el Bus Guardián es opcional (3), adicionalmente se

incluyen dos transceivers para la conversión de los datos de analógicos a digitales (4), y finalmente una fuente de alimentación (5).

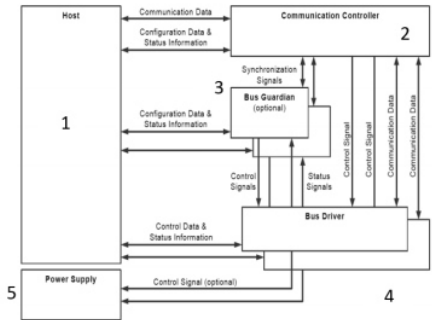


Figura 2: Componentes de un nodo del protocolo FlexRay.

Fuente: Koopman, 2015

En la figura 2 se puede observar de manera esquemática la disposición, interna, de los dispositivos que conforman un nodo del protocolo FlexRay, de la misma manera, es posible observar la configuración de las líneas de comunicación y su correspondiente interconexión.

Otro de los principales puntos que se deben resaltar, con respecto al protocolo de comunicación FlexRay, es el corto lapso de tiempo que le toma al mismo para efectuar completamente la transferencia de información entre los distintos componentes interconectados en la red de comunicación, en contraposición, CAN Bus suele operar en un intervalo de tiempo considerablemente más amplio. Fabela, M. et al. (2016), refiriéndose a FlexRay, menciona que: "Este protocolo alcanza una velocidad de transmisión de datos de 10 Mbps y realiza la transmisión de ciclos cortos de 2.5 milisegundos (CAN cada 10 milisegundos).", evidenciando así la superioridad existente en lo que se refiere a la rapidez de procesamiento particular de FlexRay.

En la siguiente tabla comparativa entre CAN Bus y FlexRay se denotan características generales de ambas partes:

Tabla 1

Comparación del sistema FlexRay con el protocolo de comunicación CAN Bus.

Característica	CAN	FlexRay
Capa física	2 cables	2 cables
Canales	1	2
Medio de transmisión	Cobre, fibra óptica	Cobre
Ancho de banda	500 kbps – 1 Mbps	10 Mbps
Longitud del mensaje	8 Bytes de datos	254 Bytes de datos
Modo de comunicación	Semi-dúplex	Dúplex
Arquitectura	Multi - Maestro	Maestro - Esclavos
Nodos máximos	16	22-64 (según la topología)
Sistema típico de operación	Seguros de puertas, luces exteriores, tablero de instrumentos	Freno de pedal, control de frenado independiente a cada rueda, suspensión, chasis, tren de potencia.

Fuente: Anaya et al., 2016

Teniendo en cuenta que el ancho de banda del CAN bus se encuentra en 1Mb/s, el tráfico de datos se vería afectado dependiendo de la cantidad de módulos electrónicos con las que cuente el vehículo, ya que, si el microcontrolador que internamente poseen las ECU, ejemplificado en la figura 2, se ve saturado de información la transmisión se ralentiza para evitar que se generen fallos, de acuerdo a Petrolhead (2018): "Este elemento es el que determina la velocidad de transmisión de los mensajes, que será más o menos elevada según el compromiso del sistema.", refiriéndose al papel crucial que cumple el microcontrolador.

Con la tecnología X-by-wire, tanto los sensores, como los actuadores, y la unidad de control están en un intercambiando constante de una abundante cantidad de datos que precisan ser procesados al instante, por tal razón, FlexRay se acopla a la perfección a X-by-wire debido a que el

ancho de banda significativamente amplio que posee posibilita que la información circule sin causar un colapso o saturación de la red, sobre todo porque: “FlexRay proporciona más confiabilidad al ofrecer capacidad de comunicación redundante (comunicación de doble canal) que no existe en CAN o LIN.” (Azeem, Malik, Avatefipour, Rongali, & Zehra, 2017).

En cuanto a la manera que tiene FlexRay de operar, en comparación del CAN bus, no solamente se toma como prioridad un mensaje para ser transmitido sino que: “En FlexRay, el período de ciclo se divide en dos partes: Una estática para mensajes críticos y una dinámica, para mensajes menos importantes.” (PicoTechnology, 2020), cubriendo las necesidades críticas y las poco relevantes sin problema.

3.3. Configuración de la red multiplexada en el BMW E7 y el Audi Q5

En el Audi Q5, distintos módulos de control interconectados por la red de comunicación CAN, que es el eje central de toda la trama vehicular, trabajan en conjunto para optimar el tren motriz y el chasis mediante el constante intercambio de información, en contraposición, en BMW quien maneja la estabilidad y control del móvil es FlexRay, que es complementado por CAN bus, ya que: “El protocolo FlexRay también se puede emplear como una red troncal de red en el vehículo, trabajando en conjunto con sistemas existentes como CAN y LIN.” (Huang, Xing, Zhao, & Zhuo, 2018), en la figura 6 es posible contemplarlo:

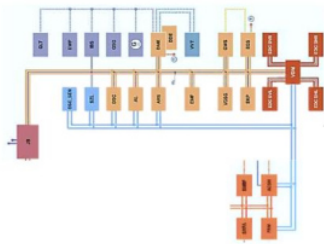


Figura 3: Distribución de la red FlexRay del BMW E7. Fuente: BMW, 2011

La tabla 2 enlista la codificación de color propia del manual de BMW en la serie E7.

Tabla 2
Codificación de colores en el manual del sistema de bus del BMW E7.

Codificación de color BMW E7	
	PT-CAN
	F-CAN
	FlexRay

Fuente: Propia.

La figura 3 es un ejemplo de la distribución, en BMW, del entramado FlexRay en conjunto con CAN Bus, siendo las líneas de comunicación de este último representadas como:

- PT-CAN, para las unidades de control electrónico asociadas al tren motriz.
- F-Can, exclusivamente para la transmisión de datos de los componentes del chasis / suspensión.

Por otro lado, el diagrama de la figura 4 refleja parte de la organización de las distintas ramas en la red de comunicación del Audi Q5, ilustrando que al igual como sucedía en el BMW, se maneja una línea de datos orientada a la gestión del tren motriz y la suspensión, siendo en Audi una sola la encargada de esto y es denominada como PowerTrain CAN. Para cubrir sistemas de tracción, frenos, transmisión, son ocupadas líneas de datos adicionales.

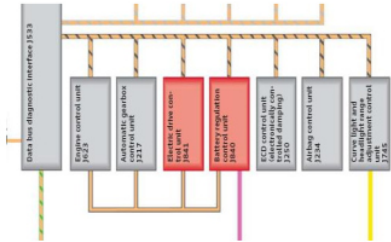


Figura 4: Configuración de la red CAN en el Audi Q5 quattro. Fuente: Audi, 2011

La siguiente tabla presenta la codificación de colores usada en el manual del Audi Q5 para sus líneas de comunicación.

componente se efectúa el intercambio de bus de datos entre distintos sistemas, por ejemplo, en el Audi:

“No es posible acoplar de forma directa el CAN Tracción con el CAN Confort/Infotainment, debido a sus diferencias en lo que respecta a los niveles de tensión y a la configuración de sus resistencias. A esto se añade la diferente velocidad de transmisión que caracteriza a ambos sistemas de buses de datos, lo cual hace imposible la evaluación de las diferentes señales.” (Audi, El intercambio de datos en el bus de datos CAN , 2015).

Así pues, la transformación de datos es concretada en este dispositivo electrónico, facilitando la intercomunicación de unidades de control con distintas cualidades.

3.4. Adaptabilidad en base a las propiedades de cada red

En este apartado se tomarán en cuenta los siguientes puntos:

- Cableado.
- Topología de red.
- Onda característica de cada red.
- Niveles de voltaje idóneos para la red CAN en BMW y el Audi Q5.
- Niveles de voltaje idóneos para la red FlexRay en BMW y el Audi Q5.

3.4.1. Cableado

En los distintos enlaces del sistema FlexRay, el cableado utilizado por BMW, en los vehículos de la serie E7, cuenta con características similares al usado en el Audi Q5 para el protocolo CAN Bus, es decir, ambas partes usan pares trenzados de cables para interconectar módulos, a su vez, el cableado trae incorporado consigo un revestimiento aislante que busca evitar que la impedancia de estos se vea modificada por factores externos, no obstante, ya que: “(...) el bus FlexRay admite una arquitectura flexible de 2 canales, A y B, que conecta las ECU en un bus.” (Michael, 2020), se emplean dos pares trenzados por cada nodo de la red.

La resistencia del par trenzado es un factor importante para el correcto funcionamiento del protocolo de comunicación, tanto en el CAN Bus del Audi Q5 como del BMW E7 esta es de 120Ω, sin embargo, “(...) las redes FlexRay típicas tienen una impedancia de cableado entre 80 y 110 ohmios, y los nodos finales están terminados para igualar esta impedancia.” (Ambitiously., 2021), teniendo esto último en cuenta y según los datos del manual de BMW E70 en el apartado de Bus System (Sistema de Bus), en la tabla 6 se evidencia como en los vehículos E70 la resistencia determina el estado de la red de comunicación.

Tabla 6
Estado de la red de comunicación según la impedancia de los pares trenzado de FlexRay.

	Valor de la resistencia	Estado de la red de comunicación
RBP-BM	< o = 10Ω	Hay un cortocircuito en esta sección de la línea.
RBP-BM	10Ω - 90Ω	Esta sección de la línea está dañada (por ejemplo, humedad en el conector, línea pellizcada)
RBP-BM	90Ω - 110Ω	Esta sección de la línea está bien y el satélite está conectado
RBP-BM	> 110Ω	Hay una interrupción en la línea o el satélite no está conectado, hay una interrupción en la conexión a los satélites.

Fuente: Propia.

Nótese que el rango de la impedancia es menor que lo manejado normalmente por CAN Bus en su sistema, por ende, las terminaciones de las resistencias de cada línea deben ajustarse a los valores de fábrica determinados para el uso del sistema FlexRay de BMW, es decir entre 90Ω y 110Ω.

En el caso de Audi, en su apartado de Bus System, el cableado destinado para FlexRay maneja una impedancia dentro del rango idóneo marcado por BMW, ya que: “Dos resistencias con una resistencia de 47Ω cada una, es decir, 94Ω en total, están conectadas al extremo de cada rama en la unidad

de control.” (Audi, 2015), siendo así, puede ser usado el cableado de cualquiera de las dos marcas para interconectar la red, siempre y cuando se tenga en cuenta la codificación de colores que maneja cada marca y se haga la comprobación de la impedancia, de esta forma se previenen problemas de transferencia de información por una instalación deficiente.

3.4.2. Topología de red

Aunque FlexRay está en la capacidad de aprovechar la configuración de distintas topologías de red, ambas marcas se inclinan a usar la misma topología, señalando en sus manuales a las topologías estrella activa con punto a punto como las aptas para esta red ya que: “La topología en estrella ayuda a reducir el cable expuesto para el segmento y también ayuda a aumentar la inmunidad al ruido.” (Naveen , Siddhartha, & Sitaram , 2019), esto da paso a especular que añadirle la red FlexRay acorde a las especificaciones de BMW es factible para el Audi Q5.

3.4.3. Onda característica de cada red

Tanto para Audi como para BMW, al evaluar el protocolo de comunicación FlexRay con un osciloscopio, o un escáner automotriz, su onda en estado natural, es decir sin fallos registrados, precisa manifestar su señal con igual amplitud pero de forma opuesta, en otras palabras, la señal enviada por la línea FlexRay High sería una imagen espejo de por FlexRay Low y viceversa.

La distorsión en las señales enviadas por las líneas, así como el desfase de la amplitud las ondas de cada línea, puede ser producto principalmente de un cortocircuito en la masa de FlexRay High o Low, cortocircuito en una de las líneas, daño en el cable o resistencias defectuosas, tras la instalación, es necesario verificar que la red se comporte de acuerdo a lo expuesto.

La figura 8 representa la onda adecuada de FlexRay en el BMW E7, la figura 9 es un ejemplo de la onda

para FlexRay idónea vista en vehículos en los que Audi ya ha incorporado esta red:

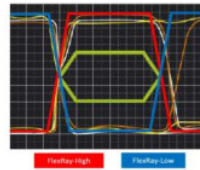


Figura 8: Señal emitida por FlexRay en BMW.
Fuente: BMW, 2011

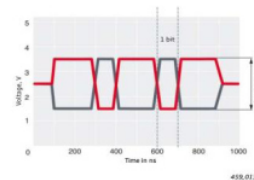


Figura 9: Señal emitida por FlexRay en Audi.
Fuente: Audi, 2015

Si bien el Audi Q5 usa CAN Bus para gestionar los sistemas en los que el BMW E7 se vale de FlexRay, la existencia de la línea PT-CAN y F-CAN de BMW hace posible conocer el comportamiento de este protocolo, a las dos marcas se le aplican los mismos principios usados para FlexRay, en la herramienta de diagnóstico usada para validar el estado de la red, la imagen registrada de las señales de CAN High y Can Low de ser de iguales, de amplitud análoga, a su vez, opuestas.

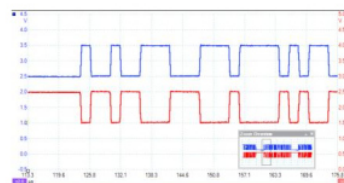


Figura 10: Señal emitida por CAN Bus.
Fuente: PicoTechnology, 2020

Las inconsistencias en las señales registradas son ocasionadas por los desperfectos expuestos anteriormente con FlexRay, pero de no ser este el caso, es necesario revisar la integridad de las ECU, sensores o actuadores interconectados en la red para descartar el mal funcionamiento de estos componentes, esto es aplicable a los dos protocolos.

3.4.4. Niveles de voltaje idóneos para la red CAN en BMW y el Audi Q5

Powertrain, como ya se supo explicar y ejemplificar en la figura 4, es la rama del protocolo CAN destinada a gobernar, en cierto porcentaje, al tren motriz, el chasis y la suspensión en el Audi Q5, que son sistemas altamente activos, así pues la red debe cumplir con los siguientes atributos:

Tabla 7:
Características del bus de datos Powertrain CAN en Audi.

Bus Powertrain CAN en Audi	
Velocidad	500 kbit/s
Voltaje mínimo CAN L	1.5 V
Voltaje máximo CAN L	2.5 V
Voltaje mínimo CAN H	2.5 V
Voltaje máximo CAN H	3.5 V

Fuente: Propia.

Por el contrario, en el BMW E70, las ramas que conectan las unidades de control delegadas a monitorear estas tres secciones, y complementar el intercambio de información entre distintos buses con la ECU que trabaja únicamente con FlexRay, se dividen en dos, una para transmitir los datos solo del tren motriz y la otra centrada en el chasis/suspensión, tal cual fue exhibido en la figura 3.

Las tablas 8 y 9 aportan datos de estas dos líneas:

Tabla 8
Características del bus de datos F-CAN en el BMW E7.

Bus F-Can en el BMW E7	
Velocidad	500 kbit/s
Voltaje mínimo CAN L	1.5 V
Voltaje máximo CAN L	2.5 V
Voltaje mínimo CAN H	2.5 V
Voltaje máximo CAN H	3.5 V

Fuente: Propia.

Tabla 9
Características del bus de datos CAN en el BMW E7.

Bus PT-CAN en el BMW E7	
Velocidad	500 kbit/s
Voltaje mínimo CAN L	1.5 V
Voltaje máximo CAN L	2.5 V
Voltaje mínimo CAN H	2.5 V
Voltaje máximo CAN H	3.5 V

Fuente: Propia.

Contrastando los valores planteados en la tabla 7, 8 y 9, es viable ultimar que, agregar el protocolo FlexRay en el Audi Q5 no afectaría el rendimiento de la red CAN, ya que este sistema de bus opera con los mismos niveles de tensión eléctrica en BMW y Audi, de igual forma, la velocidad con la que administra el procesamiento, recepción y envío de información es equitativa en los dos casos.

Más aún, en este punto brotan tres posibles situaciones que se deban afrontar, las dos primeras relacionadas con la preservación de las líneas Powertrain y la F-CAN, la última tiene está relacionada con la omisión completa de estas.

Primeramente, si se toma como base la configuración hecha por el Audi A8'10, ilustrada en la figura 5, se estaría en la facultad de añadir FlexRay al Audi Q5 sin mucho problema y además se conservaría la ramificación Powertrain para potenciar su funcionamiento, si por otro lado, se decide tomar como base completamente al BMW E7 y mantener la red de PT-CAN Y F-CAN significaría seccionar las unidades de control según la zona del automóvil que controlen, es decir, chasis/suspensión o tren motriz, la figura 3 es modelo de lo dicho.

Como última opción, al igual que el Audi Q5 Type FY, es admisible la supresión total de las tramas previamente mencionadas, sin embargo, esto implica que las principales unidades de control empleadas para perfeccionar la seguridad, estabilidad y control sean reemplazadas con ECU's que trabajen con el protocolo FlexRay, tal cual es representado en la figura 6 y 7, dado que la tasa de datos que maneja cada uno es considerablemente divergente, omitir esto deriva la desincronización de la comunicación entre módulos de control y sistemas automotrices, que pueden llevar a desperfectos parciales, o totales, de sensores, actuadores, y en el peor de los casos, descomposición de las ECU, resultando en posibles daños graves al MCI y motor eléctrico, en el caso del Audi Q5.

3.4.5. Niveles de voltaje idóneos para la red FlexRay en BMW y Audi

Ocupando como ejemplo al Audi Q5 Type FY, quien ya integra a FlexRay en su topología de red, las tablas 10 y 11 relacionan los rangos de operación de este bus de datos en el BMW E7 y en Audi:

Tabla 10
Características del bus de datos FlexRay en Audi.

Bus FlexRay de BMW E7	
Tasa máxima de transferencia de datos	10 Mbit/s
Voltaje señal alta	3.1 V
Voltaje Señal baja	1.9 V

Fuente: Propia.

Tabla 11
Características del bus de datos FlexRay en BMW.

Bus FlexRay de Audi	
Tasa máxima de transferencia de datos	10 Mbit/s
Voltaje señal alta	3.5 V
Voltaje señal baja	1.5 V

Fuente: Propia.

La discordancia del voltaje de señal que se hace uso en cada marca para el bus FlexRay podría afectar la sincronización del módulo que opera con este protocolo, no obstante:

“La especificación del protocolo de FlexRay establece una limitación tolerable de los retardos asimétricos a 4ns y 5ns para el transmisor y el receptor respectivamente. Además, la tolerancia aumenta a 8ns para el receptor cuando se usa una estrella activa para la delegación de señal.” (Huse, 2017).

Por tal, las funciones del protocolo no cambiarían al usar una ECU con propiedades similares a lo exhibido en la tabla 10.

En el caso, poco probable, que esta pequeña variación de voltaje ocasionará impedimentos en la comunicación entre los nodos de la red FlexRay, la transmisión de datos resultaría asíncrona, adelantándose o retrasándose, afectando directamente al rendimiento y seguridad del automóvil, ya que: "El aumento de la demora en la comunicación puede reducir inevitablemente la

confiabilidad de los sistemas SbW.” (Du, Huang, Huang, & Naghdy, 2019), esto último refiriéndose al sistema de dirección, no obstante, lo citado puede ser atribuido al resto de sistemas que dependen de la red operada por FlexRay.

Sin embargo, se usa en el Audi Q5 hybrid una ECU FlexRay propiamente de un Audi A8'10 o Q5 Type FY, o al contrario, una que se asemeje con las propiedades de BMW E7, los archivos volcados pertenecientes a sistemas que interactúan con este protocolo también deben ser modificados, ya que estos módulos de control tienen ajustada de fábrica esta data para regular, dependiendo del modelo o marca vehicular, la funcionabilidad del motor eléctrico, MCI, frenos, estabilidad y control, dirección asistida, star stop, etc.

Por tal motivo, aunque el módulo FlexRay llegase a trabajar acorde a las tabla 10 u 11, fuera de lo esquemático, los cambios estructurales serían necesarios, es decir, añadir, suprimir, modificar o sustituir elementos de los sistemas de tren motriz, suspensión y chasis como requisito inevitable, de lo contrario, se teoriza que al encender el vehículo o ponerlo en marcha, los códigos de falla saltarían al instante por la falta de información o la transmisión de datos inexactos.

4. CONCLUSIONES

La presente investigación, acorde con los datos de documentos científicos preexistentes, facilita corroborar e inferir que FlexRay sería un gran aditamento, en teoría, para el Audi Q5, o cualquier otro que cuente con sistemas encargados de manipular información de sistemas altamente dinámicos, dado que este protocolo cuenta con 20 veces más del ratio máximo de transferencia de datos en contraste con el CAN Bus del Audi Q5, que solamente dispone de 500 kbits/s como tope, pasado de este punto, la red puede ralentizar su desempeño con la finalidad de evitar una saturación, que en el peor de las situaciones concluiría en un colapso total de la misma.

El ancho de banda de FlexRay favorece a detectar, y actuar instantáneamente, ante baches o irregularidades en la carretera, acrecentando la estabilidad y control del automóvil, aunado a esto, la ergonomía del mismo también se ve favorecida gracias a la adaptabilidad al terreno que finalmente obtendrá el SUV.

Adicionalmente, tras analizar con detenimiento el conjunto de información reunida, se vislumbra, sobre papel, que la adaptación esquemática del protocolo de comunicación FlexRay es posible, pero pasar por alto los requerimientos básicos con respecto al cableado para este protocolo acarrearía consigo una variación en la impedancia de los pares trenzados, llevando al sistema a interpretar que existen daños en la red o fallas en sensores y actuadores, evitando que el vehículo opere eficientemente.

Finalmente, en apartados previos, se plantearon distintas posibilidades para incorporar FlexRay al Audi Q5, la mayoría destinadas a mantener a CAN Bus como una sub red del protocolo, en todas esas alternativas, el camino más corto es reemplazar las ECU necesarias por aquellas que operen con FlexRay, no obstante, emplear unas con similares atributos a la usada por BMW o de otros modelos de Audi demanda programarla acorde a los parámetros de funcionamiento del Audi Q5 hybrid, de eludir esta sugerencia, la variación en las señales emitidas y receptadas, a corto o mediano plazo, provocarían la desincronización interna de los módulos de control, paso siguiente, los microcontroladores quedarían desecho y por lo tanto, los nodos afectados quedarían inhabilitado.

De llevar a cabo, en un futuro, la incorporación del protocolo FlexRay al Audi Q5 Hybrid, se podría evaluar la eficiencia, efectos negativos en cuanto a rendimiento y emisiones de gases, del mismo cuando las modificaciones estructurales necesarias en el vehículo no son puestas en consideración, pudiéndose comparar los valores de eficiencia del Audi con y sin el protocolo.

5. REFERENCIAS

¹⁴ Ambitiously., E. (10 de Enero de 2021). *FlexRay Automotive Communication Bus Overview*. Obtenido de <https://www.ni.com/es-cr/innovations/white-papers/06/flexray-automotive-communication-bus-overview.html>

Arciniega , F., & Fuelto¹³ , J. (Octubre de 2020). *Reprogramación de funciones especiales en vehículos modernos aplicando Ingeniería inversa a registros de memorias y micro controladores de módulos automotrices*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10644>

²⁵ Audi. (22 de Abril de 2015). *El intercambio de datos el bus de datos CAN* . Obtenido de <http://www.steinbock.cl/wp-content/uploads/2015/04/22-Documento-Diseño-y-Funcionamiento-AUDI-CAN-Bus-de-Datos-Doc2.pdf>

⁹ Audi. (Febrero de 2015). *VAG SSP 634 – Audi Q7 (Type 4M) Onboard Power Supply And Networking*. Obtenido de <https://procarmanuals.com/vag-ssp-634-audi-q7-type-4m-onboard-power-supply-networking/>

³ Autodata Training. (30 de Enero de 2017). *Understanding FlexRay*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=cbwvXO3Y9kI>

³⁰ Azeem, H., Malik, H., Avatefi¹⁹ O., Rongali, P., & Zehra, S. (28 de Marzo de 2017). *Comparative Study of CAN-Bus and FlexRay protocols for In-Vehicle Communication*. Obtenido de <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2017-01-0017/>

²⁰ IW, E. (2020). *FLEX RAY*. Obtenido de <https://www.bmw.es/es/footer/footer-section/glosario-bmw/flex-ray.html>

¹¹ eshkrishna, R., Pradeep, J., & Sebasteen, S. (2018). *COMPARISON OF CAN AND FLEXRAY PROTOCOL FOR AUTOMOTIVE APPLICATION* . Obtenido de <https://acadpubl.eu/hub/2018-119-14/articles/3/48.pdf>

³¹ H., Huang , C., Huang, H., & Naghdy, F. (2019). *Fault tolerant steer-by-wire systems: An overview*.

10. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1367578818301317?via%3Dihub>
- Fabela, M., Flores, O., Hernández, J., Martín, M., Molano, M., Sánchez, L., & Vázquez, D. (2016). *Revisión documental del protocolo CAN como herramienta de comunicación y aplicación en vehículos*. Obtenido de <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt474.pdf>
17. Forsberg, A., & Hedberg, J. (2016). *Comparison of FlexRay and CAN-bus for Real-Time Communication*. Obtenido de <https://docplayer.net/17475397-Comparison-of-flexray-and-can-bus-for-real-time-communication.html>
7. Gómez, M., & Noroña, M. (26 de Febrero de 2019). *Desarrollo e innovación de los sistemas mecatrónicos en un automóvil: una revisión*. Obtenido de <http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S1390-65422019000100117>
- Goyal, A., & Takur, A. (Junio de 2019). *AN OVERVIEW OF DRIVE BY WIRE TECHNOLOGY FOR AUTOMOBILES*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/330533179_An_overview_of_Drive_by_wire_technology_for_Automobiles
- Huang, J., Xing, C.-c., Zhao, M., & Zhuo, Y. (13 de Marzo de 2018). *In-Vehicle Networking: Protocols, Challenges, and Solutions*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8315204>
- Huse, M. (2017). *FlexRay Analysis, Configuration Parameter Estimation, and Adversaries*. Obtenido de <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2453093>
- Kim, D.-S., & Tran-Dang, H. (12 de Diciembre de 2018). *FlexRay Protocol: Objectives and Features*. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-04927-0_2
18. Michael, G. (2020). *Modeling and Verifying the FlexRay Physical Layer Protocol with Reachability Checking of Timed Automata*. Obtenido de <https://publikationen.sulb.uni-saarland.de/bitstream/20.500.11880/30860/1/GeorgePhDThesis.pdf>
15. Muray, P.-S., & Groza, B. (19 de Enero de 2019). *Practical security exploits of the FlexRay in-vehicle communication protocol*. Obtenido de <http://www.aut.upt.ro/~stefan.muray/papers/practical-security-exploits-flexray-in-vehicle-communication-protocol.pdf>
- 5.aveen, K., Siddhartha, V., & Sitaram, Y. (Abril de 2019). *Comparison of CAN, LIN, FLEX RAY and MOST In-vehicle bus protocols*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/341311712_Comparison_of_CAN_LIN_FLEX_RAY_and_MOST_In-vehicle_bus_protocols
- NAVIXY. (01 de Febrero de 2020). *CAN bus y alternativas*. Obtenido de <https://www.navixy.com/es/docs/academy/can-bus/can-and-alternatives/>
22. Pedrero, C. L. (Septiembre de 2018). *Presente y futuro del coche conectado*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/124739/tfg-carmen-lovera.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
2. Petrolhead. (08 de Mayo de 2018). *Características de un sistema Can Bus*. Obtenido de <https://petrolheadgarage.com/cursos-automocion/caracteristicas-de-un-sistema-can-bus/>
- PicoTechnology. (2020). *Bus de datos del vehículo FlexRay*. Obtenido de <https://www.picoauto.com/es/library/automotive-guided-tests/bus-de-datos-del-vehiculo-flexray/>
- Reyes González, M. Á. (27 de Octubre de 2015). *TECNOLOGÍA FLEXRAY*. Obtenido de <http://migueangelreyes.blogspot.com/2015/10/tecnologia-flexray.html>
- Zurawski, R. (2015). *Industrial Communication Technology Handbook - 2nd Edition*. Obtenido de <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/b17365-55/flexray-communication-technology-roman-nossal-tueyeni-dietmar-millinger>

Trabajo Álex Núñez

INFORME DE ORIGINALIDAD

11%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.scribd.com

Fuente de Internet

2%

2

Submitted to Escuela Politecnica Nacional

Trabajo del estudiante

1%

3

repositorio.utn.edu.ec

Fuente de Internet

1%

4

www.bmw.es

Fuente de Internet

1%

5

Submitted to Coventry University

Trabajo del estudiante

<1%

6

Submitted to UTEC Universidad de Ingenieria
& Tecnologia

Trabajo del estudiante

<1%

7

Submitted to Aliat Universidades

Trabajo del estudiante

<1%

8

imt.mx

Fuente de Internet

<1%

9	Y. D. Kochetkov, N. V. Romanov, I. V. Cilcic, A. A. Ivanov. "AVELPOL", Proceedings of the 3rd International Conference on Applications in Information Technology - ICAIT'2018, 2018 Publicación	<1 %
10	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
11	Submitted to CSU, San Jose State University Trabajo del estudiante	<1 %
12	Submitted to Universidad de Málaga - Tii Trabajo del estudiante	<1 %
13	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to University of Warwick Trabajo del estudiante	<1 %
15	delaat.net Fuente de Internet	<1 %
16	www.scipedia.com Fuente de Internet	<1 %
17	Azeem Hafeez, Kenneth Topolovec, Carmen Zolo, Waqas Sarwar. "State of the Art Survey on Comparison of CAN, FlexRay, LIN Protocol and Simulation of LIN Protocol", SAE International, 2020 Publicación	<1 %

18

d-nb.info

Fuente de Internet

<1 %

19

Emad Aliwa, Omer Rana, Charith Perera, Peter Burnap. "Cyberattacks and Countermeasures for In-Vehicle Networks", ACM Computing Surveys, 2021

Publicación

<1 %

20

Submitted to Universidad Politécnica de Cartagena

Trabajo del estudiante

<1 %

21

www.cambridge.org

Fuente de Internet

<1 %

22

api.intechopen.com

Fuente de Internet

<1 %

23

globalizate.org

Fuente de Internet

<1 %

24

red.uao.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

25

www.christiani.es

Fuente de Internet

<1 %

26

docplayer.net

Fuente de Internet

<1 %

27

lookformedical.com

Fuente de Internet

<1 %

worldwidescience.org

28

Fuente de Internet

<1 %

29

mumblinggoldman.blogspot.com

Fuente de Internet

<1 %

30

Yubin Lin, Chengbin Chen, Fen Xiao, Omid Avatefipour, Khalid Alsubhi, Arda Yunianta. "An Evolutionary Deep Learning Anomaly Detection Framework for In-Vehicle Networks - CAN Bus", IEEE Transactions on Industry Applications, 2020

Publicación

<1 %

31

Ziquan Yu, Youmin Zhang, Bin Jiang, Chun-Yi Su, Jun Fu, Ying Jin, Tianyou Chai. "Nussbaum-based finite-time fractional-order backstepping fault-tolerant flight control of fixed-wing UAV against input saturation with hardware-in-the-loop validation", Mechanical Systems and Signal Processing, 2021

Publicación

<1 %

32

Zurawski, . "Automotive Communication Technologies", Industrial Information Technology, 2014.

Publicación

<1 %

33

castbox.fm

Fuente de Internet

<1 %

34

eseposgradoipn.mx

Fuente de Internet

<1 %

35

moam.info

Fuente de Internet

<1 %

36

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

Trabajo Álex Núñez

INFORME DE GRADEMARK

NOTA FINAL

/0

COMENTARIOS GENERALES

Instructor

PÁGINA 1

PÁGINA 2

PÁGINA 3

PÁGINA 4

PÁGINA 5

PÁGINA 6

PÁGINA 7

PÁGINA 8

PÁGINA 9

PÁGINA 10

PÁGINA 11

PÁGINA 12