



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
Powered by Arizona State University

**FACULTAD DE INGENIERIAS APLICADAS Y
DESARROLLO INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Análisis Comparativo de las Señales de Velocidad del
Sistema de Control Dinámico del Vehículo Bajo Diferentes
Presiones de Inflado de los Neumáticos**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Autor: Cedeño Vélez, Jonny Carlos

Tutor: Noroña Merchán, Marco Vinicio

GUAYAQUIL
2026

Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Yo, Marco Vinicio Noroña Merchán, en calidad de tutor del Trabajo de Integración Curricular denominado: Análisis comparativo de las señales de velocidad del sistema de control dinámico del vehículo bajo diferentes presiones de inflado de los neumáticos realizado por Jonny Carlos Cedeño Velez ha sido orientado y revisado en todas sus partes y considero que cumple los requisitos establecidos por la institución. En virtud de ello doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Marco Vinicio Noroña Merchán

Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, Jonny Carlos Cedeño Velez declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, Reglamento y Leyes.

Autor: Jonny Carlos Cedeño Velez

C.I.: 0952108306

Dedicatoria

Este proyecto se lo dedico a mi familia que siempre ha estado para darme el soporte económico y emocional para salir adelante. A mi madre por darme el ejemplo de perseverancia y resiliencia. A mi novia que, ha estado a mi lado acompañándome hasta el final con alegría y motivándome en todo mi proceso de mi superación académica. A mi hermana, que me sostuvo y ayudó en todo momento. A mi hermano, que me brindó información relevante para mi vida. A mis profesores, que con esfuerzo y dedicación diaria impartieron sus conocimientos y experiencias, las cuales me permitirán sobresalir en el mundo laboral. A mis compañeros, con los que compartimos un centenar de risas y dolores de cabeza en la realización de diferentes proyectos y deberes. En especial le dedico este proyecto a mi querido padre que está en el cielo, cuyo anhelo más grande fue el verme graduar, verme con mi título y verme sobresalir en la vida.

Agradecimiento

Le agradezco a Dios por darme las fuerzas para sobresalir en mi educación, a mis padres por poner el ejemplo de fuerza, valentía y superación, a mi novia por motivarme a conseguir la excelencia, a mi tutor y profesores que buscaron la mejor manera de enseñarnos y prepararnos para el futuro, le agradezco a mis compañeros por los recuerdos inolvidables en estos 4 años.

Índice de contenido

Carátula.....	I
Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular	III
Declaración de autoría y cesión de derechos	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento.....	VI
Índice de contenido	VII
Índice de tablas	X
Índice de figuras	XI
Índice de anexos	XII
Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción	3
Capítulo I.....	4
Antecedentes	4
1.1 Tema.....	4
1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema	4
1.2.1 Planteamiento del problema	4
1.2.2 Formulación del problema.....	6
1.2.3 Sistematización del problema.....	6
1.3 Objetivos de la investigación.....	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.4 Justificación y delimitación de la investigación.....	6
1.4.1 Justificación teórica.....	7
1.4.2 Justificación metodológica	7
1.4.3 Justificación práctica	7
1.4.4 Delimitación temporal	8

1.4.5 Delimitación geográfica	8
1.4.6 Delimitación del contenido.....	8
Capítulo II.....	9
Marco referencial	9
2.1 Marco teórico	9
2.1.1 Conceptos preliminares.....	9
2.1.2 Sistema de control dinámico (VDC o ESP).....	9
2.1.3 Sistema de frenos antibloqueo (ABS).....	10
2.1.4 Sensores de velocidad de rueda	10
2.1.5 Diámetro efectivo y radio de rodadura	11
2.1.6 Deslizamiento longitudinal (Slip Ratio).....	11
2.1.7 Red de comunicación CAN bus.....	12
2.1.8 Sensor de guiñada.....	12
2.1.9 Sensor de aceleración lateral.....	13
2.1.10 Análisis de variación del diámetro en base al perfil de rueda.....	14
2.1.11 Función básica de los componentes del sistema ABS/VDC el vehículo.....	15
2.1.12 Ubicación física del sensor de velocidad.....	16
Capítulo III.....	17
Obtención de las señales de velocidad del sistema de control dinámico del vehículo	17
3.1 Enfoque metodológico.....	17
3.2 Diseño de investigación	17
3.3 Especificaciones técnicas del vehículo de prueba	18
3.4 Características del sistema de control dinámico VDC/ABS.....	19
3.5 Diagrama eléctrico del sistema ABS/VDC	20
3.6 Equipo y herramientas de diagnóstico utilizados	20
3.7 Procedimiento experimental	21
3.8 Selección de ruta y parámetros de tráfico	22
3.9 Diagnóstico inicial del sistema	23

3.10 Determinación de presión a usar.....	23
3.11 Registro de velocidad de rueda del vehículo.....	24
3.12 Obtención de datos a 40 PSI	26
3.13 Obtención de datos a 20 PSI	28
3.14 Obtención de datos a 15 PSI	30
3.15 Obtención final de velocidad tangencial de la rueda con variación de presión..	31
Capítulo IV	33
Análisis de resultados.....	33
4.1 Análisis de la variación de velocidad de ruedas	33
4.2 Análisis de la estabilidad con base en los sensores G y de guiñada	35
4.3 Análisis final de datos recopilados	37
Conclusiones	39
Recomendaciones	41
Referencias.....	43

Índice de tablas

Tabla 1 Variables de la investigación	18
Tabla 2 Especificaciones generales del vehículo y neumáticos	19
Tabla 3 Componentes del sistema VDC/ABS	19
Tabla 4 Secuencia del procedimiento experimental	21
Tabla 5 Condiciones de presión aplicadas en la rueda delantera izquierda	23
Tabla 6 Señales seleccionadas en el escáner	25
Tabla 7 Datos obtenidos de los sensores G D/T y sensor de guiñada a 40 PSI.....	27
Tabla 8 Datos obtenidos de los sensores G D/T y sensor de guiñada a 20 PSI.....	29
Tabla 9 Datos obtenidos de los sensores G D/T y sensor de guiñada a 15 PSI.....	31
Tabla 10 Velocidad teórica estimada para la rueda delantera izquierda	32
Tabla 11 Velocidades tangenciales calculadas a partir de las rpm de rueda	34
Tabla 12 Comparación de los sensores G D/T y de guiñada según la presión.....	35
Tabla 13 Síntesis del comportamiento de los sensores G D/T y de guiñada	37
Tabla 14 Análisis final de los datos recopilados	38

Índice de figuras

Figura 1 Testigo del sistema ESP.....	10
Figura 2 Dimensiones de la rueda considerado en el diámetro efectivo.....	11
Figura 3 Fuerzas que actúan sobre el neumático.....	12
Figura 4 Sensor de guiñada	13
Figura 5 Sensor de aceleración lateral.....	14
Figura 6 Esquema real de ubicación referencial del sensor de velocidad de rueda.....	16
Figura 7 Equipo de diagnóstico utilizado.....	20
Figura 8 Manómetro.....	21
Figura 9 Ruta de prueba realizada en Samborondón	22
Figura 10 Verificación fotográfica de las presiones de prueba con manómetro	24
Figura 11 Evidencia de deformación del neumático durante la prueba de baja presión	24
Figura 12 Parámetros seleccionados en el escáner	25
Figura 13 Registro del escáner durante la prueba con 40 PSI.....	26
Figura 14 Gráfica de los sensores G y de guiñada a 40 PSI.....	27
Figura 15 Registro del escáner durante la prueba con 20 PSI.....	28
Figura 16 Gráficas del sensor G y de guiñada a 20 PSI.....	29
Figura 17 Registro del escáner durante la prueba con 15 PSI.....	30
Figura 18 Gráficas de sensor G y de guiñada a 15 PSI	30
Figura 19 Variación de velocidad tangencial de la rueda delantera izquierda a diferentes presiones.....	34
Figura 20 Variación del sensor de guiñada a 40 PSI, 20 PSI y 15 PSI.....	37

Índice de anexos

Anexo 1	Diagrama eléctrico del sistema ABS/VDC, actuador y sensores de rueda	45
Anexo 2	Diagrama eléctrico del sistema ABS/VDC, comunicación CAN y módulos de apoyo	46
Anexo 3	Diagnosís inicial de módulos electrónicos del vehículo	47

Resumen

La presente investigación analiza comparativamente las señales de velocidad del sistema de control dinámico del vehículo bajo diferentes presiones de inflado en la rueda delantera izquierda de un Nissan X-Trail T32. El estudio se desarrolló con un enfoque experimental de campo, utilizando un escáner automotriz conectado al puerto OBD2 para registrar el histórico de diagnóstico durante recorridos reales de conducción. Las pruebas se realizaron con tres condiciones de presión en la rueda intervenida: 40 PSI, 20 PSI y 15 PSI, mientras que las demás ruedas se mantuvieron con la presión de referencia del fabricante. Para el análisis se consideraron las velocidades de las cuatro ruedas, la señal VSO, el sensor G D/T y el sensor de guiñada, con el fin de relacionar la variación de presión con el comportamiento dinámico del vehículo. Los valores de rpm fueron transformados a velocidad tangencial en km/h mediante la circunferencia nominal del neumático 225/65 R17, como referencia matemática para comparar las señales. Los resultados mostraron que, al disminuir la presión, la rueda delantera izquierda presentó una mayor diferencia frente al promedio de las ruedas no intervenidas, llegando a la mayor variación en la condición de 15 PSI. Sin embargo, el sensor G y el sensor de guiñada no evidenciaron una pérdida real de estabilidad, sino pequeñas oscilaciones normales propias de una prueba en ruta. Se concluye que la baja presión puede modificar la lectura del sistema ABS/VDC, por lo que debe revisarse la condición física del neumático antes de diagnosticar una falla electrónica.

Palabras clave: VDC, ABS, presión de inflado, sensor de velocidad de rueda, guiñada, estabilidad vehicular.

Abstract

This research comparatively analyzes the wheel speed signals of the vehicle dynamic control system under different inflation pressures applied to the front left tire of a Nissan X-Trail T32. The study was developed using an experimental field approach, with an automotive scan tool connected to the OBD2 port to record live diagnostic data during real driving tests. Three pressure conditions were evaluated on the intervened wheel: 40 PSI, 20 PSI, and 15 PSI, while the remaining wheels were kept at the manufacturer's reference pressure. The analysis considered the speed signals of the four wheels, the VSO signal, the G sensor, and the yaw rate sensor, in order to relate the pressure variation to the vehicle's dynamic behavior. Wheel rpm values were converted into tangential speed in km/h using the nominal circumference of the 225/65 R17 tire, as a mathematical reference for signal comparison. The results showed that, as tire pressure decreased, the front left wheel presented a greater difference compared with the average of the non-intervened wheels, with the highest variation observed at 15 PSI. However, the G sensor and yaw rate sensor did not show a real loss of stability, only small normal oscillations related to road testing conditions. It is concluded that low tire pressure can modify the ABS/VDC signal readings, therefore tire pressure and physical tire condition should be checked before diagnosing an electronic failure.

Keywords: VDC, ABS, tire pressure, wheel speed sensor, yaw rate, vehicle stability.

Introducción

Los vehículos actuales dependen cada vez más de sistemas electrónicos de seguridad activa que permiten mejorar la estabilidad, el frenado y el control durante la conducción. Entre estos sistemas se encuentran el ABS y el control dinámico vehicular, conocido también como ESP o VDC según el fabricante. Estos sistemas utilizan información proveniente de sensores de velocidad de rueda, sensor de guiñada, aceleración lateral y otros parámetros para determinar si el vehículo se está desplazando de acuerdo con la trayectoria esperada por el conductor (Bosch Mobility, s. f.) (Rajamani, 2012).

Dentro de esta lógica de funcionamiento, la señal de velocidad de cada rueda cumple un papel principal. Una variación en la lectura de una rueda puede ser interpretada por la unidad de control como pérdida de adherencia, deslizamiento o diferencia de comportamiento dinámico. Sin embargo, no toda diferencia de lectura tiene necesariamente origen eléctrico. Factores mecánicos como presión de inflado, desgaste, medida de neumático y deformación bajo carga también pueden modificar el radio dinámico efectivo y, por lo tanto, la relación entre rpm de rueda y velocidad del vehículo (Gillespie, 1992); (Pacejka, 2012).

La presión del neumático es una condición de mantenimiento básica, pero muchas veces no es revisada antes del uso diario del vehículo. Cuando la presión disminuye, el neumático se deforma más en la zona de contacto con el pavimento, reduciendo su radio efectivo de rodadura. Esta condición puede hacer que la rueda gire a una velocidad ligeramente diferente frente a las demás, aun cuando el vehículo mantenga una trayectoria normal. Estudios experimentales han demostrado que la presión de inflado y la velocidad del vehículo influyen en el radio efectivo de rodadura, lo cual también se relaciona con aplicaciones de TPMS y estimación de velocidad mediante sensores de rueda (Köylü, 2020); (Ryan & Bevely, 2012).

Por esta razón, la presente investigación analiza comparativamente las señales de velocidad del sistema de control dinámico en un Nissan X-Trail T32, bajo tres condiciones de presión en la rueda delantera izquierda: 40 PSI, 20 PSI y 15 PSI. La finalidad es observar si la variación de presión genera diferencias medibles en las señales registradas por el escáner y aportar un criterio práctico para el diagnóstico automotriz antes de asumir una falla electrónica en sensores ABS o en el módulo de control.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema

Análisis comparativo de las señales de velocidad del sistema de control dinámico del vehículo bajo diferentes presiones de inflado de los neumáticos.

1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema

En los vehículos actuales, como el Nissan X-Trail del 2017, cuentan con sistemas de seguridad activa para mantener en control el mismo durante su manejo, en este caso se lo conoce como el sistema ESP o en el caso de Nissan control dinámico vehicular (VDC), este sistema se encarga de revisar la señal que muestran los sensores de las ruedas y controlar que todas se muevan a la misma velocidad, caso contrario este entra en juego con el sistema ABS para controlar la velocidad de la rueda en cuestión.

Los sensores que envían la señal para la activación del sistema VDC vienen a ser los sensores de velocidad ubicados en cada rueda, por lo tanto cuando estas ruedas no están en óptimas condiciones para rodar o hay condiciones fuera del parámetro establecido por el fabricante, podrían causar una lectura incorrecta del sistema VDC, tomando en cuenta que la mayoría de los conductores no revisan las llantas de su vehículo previo a su uso, la alteración de las mismas podría causar un accidente debido al malfuncionamiento del sistema.

1.2.1 Planteamiento del problema

Los sistemas de control dinámico del vehículo son parte de los sistemas de seguridad activa diseñados para incrementar la estabilidad y el control durante la conducción. Estos sistemas, son conocidos generalmente como Vehicle Dynamic Control (VDC) o control electrónico de estabilidad, utilizan información de diversos sensores instalados en el vehículo, entre los cuales podemos ver mayormente los sensores de velocidad de rueda que originalmente forman parte del sistema antibloqueo de frenos (ABS). A partir de estas señales, la unidad de control electrónico puede detectar pérdidas de adherencia, deslizamiento de las ruedas o desviaciones en la trayectoria del vehículo, aplicando

estrategias de control que permiten mejorar la estabilidad y seguridad durante la conducción (Rajamani, 2012).

La velocidad de cada rueda son una de las variables más importantes utilizadas por estos sistemas de control. Los sensores de velocidad generan señales eléctricas que son revisadas por la unidad de control del vehículo para saber la velocidad del vehículo y comparar el comportamiento de cada rueda durante distintas condiciones de conducción. Esta información permite identificar diferencias entre ruedas que podrían indicar pérdida de tracción, bloqueo o deslizamiento (Bosch Mobility, s. f.)

Sin embargo, la interpretación de estas señales puede verse influenciada por diferentes factores físicos asociados al neumático. Uno de los factores más relevantes es la presión de inflado, ya que esta modifica la deformación del neumático en contacto con el pavimento y, en consecuencia, su radio dinámico o diámetro efectivo de rodadura. Cambios en la presión de inflado pueden alterar la relación entre la velocidad angular de la rueda y la velocidad real del vehículo, lo que podría afectar las señales de velocidad utilizadas por los sistemas de control dinámico (Gillespie, 1992)

En condiciones reales de operación, los neumáticos de los vehículos no siempre mantienen la presión de inflado recomendada por el fabricante. Factores como variaciones de temperatura, desgaste, mantenimiento inadecuado o pérdidas graduales de aire pueden provocar cambios en la presión del neumático durante la conducción. Estas variaciones pueden influir en el comportamiento dinámico del vehículo y en la forma en que los sistemas electrónicos interpretan las señales de velocidad de las ruedas.

A pesar de la importancia de estas señales para el funcionamiento de los sistemas de control dinámico, existe limitada evidencia experimental que analice cómo las variaciones en la presión de inflado del neumático pueden influir en las señales de velocidad registradas por los sensores de rueda. Por esta razón, resulta pertinente realizar un estudio experimental que permita analizar y comparar dichas señales bajo diferentes condiciones de presión de inflado, utilizando herramientas de diagnóstico automotriz como el escáner para registrar las velocidades individuales de cada rueda durante pruebas de conducción.

El desarrollo de este tipo de estudios contribuye a comprender mejor la interacción entre los sistemas electrónicos de control del vehículo y las condiciones físicas de los neumáticos, aportando conocimiento relevante tanto para el diagnóstico automotriz.

1.2.2 Formulación del problema

¿De qué manera y en qué medida influye la variación del diámetro efectivo del neumático en el cálculo de la velocidad del vehículo y en el correcto desempeño de su sistema de control dinámico, considerando diferentes condiciones de manejo para nuestro caso de estudio?

1.2.3 Sistematización del problema

- ¿Cómo cambia el tamaño real de la llanta al variar la presión del aire y las condiciones de manejo del vehículo?
- ¿Qué tanta diferencia se genera entre la velocidad que calcula la computadora del auto y la velocidad real a la que se mueve en la calle?
- ¿Cómo se comporta el sistema de estabilidad ante estos cambios al revisar los datos en vivo con el escáner automotriz?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Analizar las variaciones en las señales de velocidad del sistema de control dinámico del vehículo bajo diferentes presiones de inflado de los neumáticos en un Nissan X-Trail.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar las características eléctricas del sistema de control dinámico del Nissan X-Trail y la presión de inflado recomendada por el fabricante.
- Registrar las señales de velocidad de cada rueda mediante escáner automotriz al modificar la presión de inflado de los neumáticos.
- Comparar las señales de velocidad de las ruedas obtenidas bajo diferentes presiones de inflado de los neumáticos.

1.4 Justificación y delimitación de la investigación

En muchas ocasiones los dueños de los vehículos no hacen una revisión previa de su vehículo antes de un viaje o del uso diario del mismo, por otro lado, no todos los vehículos cuentan con sistemas de monitoreo activo de la presión de las llantas, es por eso por lo que el estado de la llanta, la presión de esta, o el peso que carga la llanta, puede influir directamente en la función del sistema VDC, poniendo en riesgo la vida de los pasajeros.

En esta investigación que se realizó de manera experimental y usó como objeto de estudio un Nissan X-Trail del 2017, con el cual se hizo un énfasis en las diferentes condiciones de las llantas (Peso, inflado, estado), y como estas influyen en las lecturas de los sensores que envían la información a la ECU para la activación del VDC. Para esta investigación se recopiló la información con un escáner automotriz que estaba conectado y obtuvo la información en vivo, para ver como cambian las señales emitidas por los sensores. Este estudio se restringió en el análisis y comparación de datos obtenidos por los sensores de las ruedas bajo diferentes parámetros y la activación del sistema VDC ante estos resultados, sin comprometer ni cambiar sistemas del vehículo original.

1.4.1 Justificación teórica

En la parte teórica este proyecto nos sirvió para generar información real y comprobada sobre cómo se relacionan las medidas físicas de los neumáticos con los cálculos matemáticos que hace la computadora del auto, ayudando a comprender mucho mejor de qué manera estos cambios modifican el funcionamiento de los sistemas de seguridad activa como el VDC y el ABS.

1.4.2 Justificación metodológica

Para la metodología usamos un enfoque totalmente práctico y experimental, donde vamos a comparar los datos que nos da el escáner conectado a la red del auto con la velocidad real que mediremos usando un GPS, así tendremos un diagnóstico más exacto para encontrar dónde se originan los errores de lectura.

1.4.3 Justificación práctica

En la práctica todos estos resultados son una herramienta de muchísimo valor para los talleres mecánicos y los profesionales del área automotriz, ya que al entender este problema evitará que se hagan diagnósticos equivocados o que se hagan gastar a los clientes cambiando módulos electrónicos caros cuando en realidad la falla del sistema de estabilidad viene simplemente de una llanta con la presión incorrecta o un desgaste irregular.

1.4.4 Delimitación temporal

La investigación, junto con las pruebas de manejo y el análisis de los datos recopilados se realizaron durante el período académico comprendido entre los meses de marzo y septiembre del presente año 2026.

1.4.5 Delimitación geográfica

El estudio experimental y las pruebas de ruta bajo condiciones diferentes se realizaron en la ciudad de Guayaquil.

1.4.6 Delimitación del contenido

El proyecto se centró únicamente en monitorear los sensores de velocidad de las ruedas, revisar el cálculo de velocidad que hace la computadora y analizar cómo responde el sistema VDC en el Nissan X-Trail, limitándonos a leer los datos sin hacerle ninguna modificación al software original ni alterar de forma permanente las partes mecánicas del vehículo.

Capítulo II

Marco Referencial

2.1 Marco teórico

El marco teórico se apoya en los principios de la dinámica vehicular y del control electrónico automotriz. (Gillespie, 1992) explica que el radio dinámico o diámetro efectivo del neumático influye directamente en la relación entre el giro de la rueda y la velocidad de desplazamiento. Por su parte, (Rajamani, 2012) señala que los módulos de control, como el ABS y el VDC, comparan las señales de velocidad de las ruedas para aplicar estrategias de frenado y estabilidad. Por esta razón, una alteración física del neumático puede modificar la información utilizada por la unidad de control y debe considerarse durante el diagnóstico.

2.1.1 Conceptos preliminares

Para poder adentrarnos de lleno en el desarrollo de esta investigación sin que los términos técnicos resulten aburridos o confusos, es indispensable establecer una base muy clara sobre cómo interactúan las partes mecánicas tradicionales del vehículo con la gestión electrónica moderna, ya que hoy en día un auto como el Nissan X-Trail funciona como una gran red de computadoras interconectadas que dependen totalmente de las leyes de la física para tomar decisiones en fracciones de segundo, por lo que a continuación detallaremos los conceptos fundamentales que nos ayudarán a entender exactamente qué pasa cuando una simple variación en el tamaño de una llanta altera por completo las matemáticas de la computadora, comprometiendo así los sistemas de seguridad que nos protegen en la vía.

2.1.2 Sistema de control dinámico (VDC o ESP)

Es el sistema de seguridad activa que está encargado de mantener la estabilidad del vehículo cuando detecta que el auto está perdiendo adherencia o derrapando, su trabajo se basa en cortar la aceleración del motor y/o frenar individualmente cada rueda para mantener el control del vehículo basado en la lectura que obtiene de cada rueda. El testigo relacionado con este sistema se presenta en la figura 1.

Figura 1

Testigo del sistema ESP

*Fuente:* (Coches.com, 2025)

2.1.3 Sistema de frenos antibloqueo (ABS)

El sistema de frenos antibloqueo, conocido como ABS, es un sistema de seguridad activa que evita que las ruedas se bloqueen durante una frenada, especialmente en condiciones de baja adherencia o frenado de emergencia. Su funcionamiento se basa en modular rápidamente la presión de frenado en las ruedas, de esta manera el neumático mantiene contacto y adherencia con el pavimento, permitiendo que el conductor conserve el control de la dirección durante la maniobra (Bosch Mobility, s. f.). Además, el sistema ABS trabaja en conjunto con el sistema de control dinámico vehicular o VDC, ya que el control de estabilidad utiliza la información del ABS y puede aplicar frenado individual en determinadas ruedas cuando detecta una posible pérdida de trayectoria o deslizamiento del vehículo (Bosch Mobility, s. f.) (National Highway Traffic Safety Administration, 2007)

2.1.4 Sensores de velocidad de rueda

Los sensores de velocidad de rueda son componentes electrónicos ubicados cerca del conjunto de freno, rodamiento o cubo de rueda, cuya función es detectar la velocidad de giro de cada neumático. La señal obtenida se envía a la unidad de control y sirve para calcular la velocidad individual de cada rueda, apoyando el funcionamiento del ABS, VDC o ESP (Bosch Mobility, s. f.). Estos sensores pueden emplear tecnología de efecto Hall o

magnetorresistiva, mediante la lectura de los cambios del campo magnético producidos por el giro del encoder o aro generador de señal (TE Connectivity, s. f.).

2.1.5 Diámetro efectivo y radio de rodadura

El radio de rodadura es la distancia efectiva entre el centro de la rueda y la zona de contacto del neumático con el pavimento. Este valor cambia según la carga soportada, la presión de inflado y la deformación del neumático durante la marcha (Gillespie, 1992). (Pacejka, 2012) explica que el comportamiento del neumático depende de su interacción con el pavimento y de las fuerzas que actúan en la zona de contacto. Además, al disminuir la presión aumenta la deformación del neumático, lo que modifica la relación entre la velocidad angular de la rueda y la velocidad del vehículo (Köylü, 2020). La figura 2 presenta las dimensiones básicas empleadas para comprender este cálculo.

Figura 2

Dimensiones de la rueda considerado en el diámetro efectivo



Fuente: (Junto a mi Auto, 2026)

2.1.6 Deslizamiento longitudinal (Slip Ratio)

El deslizamiento longitudinal expresa la diferencia relativa entre la velocidad periférica de la rueda y la velocidad de desplazamiento del vehículo. (Gillespie, 1992) relaciona esta variable con la interacción longitudinal entre el neumático y el pavimento, mientras que (Pacejka, 2012) la utiliza para describir la generación de fuerzas durante la tracción y el

frenado. En sistemas como ABS, VDC o ESP, el deslizamiento permite detectar condiciones de bloqueo o pérdida de adherencia mediante la comparación de las señales de las ruedas (Rajamani, 2012). La (SAE International, 2022) también considera estas señales dentro del análisis de los sistemas de estabilidad. La figura 3 representa las principales fuerzas que actúan sobre el neumático durante la marcha.

Figura 3

Fuerzas que actúan sobre el neumático



Fuente: (Enriquez & Bejarano, s. f.)

2.1.7 Red de comunicación CAN bus

Este es el sistema de comunicación del vehículo, en esta pasa información vital que se recolecta en tiempo real por los diferentes módulos, esta red es de comunicación alta y baja, dictamina que información es más importante.

2.1.8 Sensor de guiñada o giroscopio

El sensor de guiñada es un componente electrónico que mide el giro del vehículo sobre su eje vertical, es decir, permite saber si el auto está rotando hacia la izquierda o hacia la derecha durante la conducción, esta información es usada por el sistema VDC o ESP para comparar el movimiento real del vehículo con la dirección que el conductor desea seguir, tomando como referencia el ángulo del volante y las velocidades de las ruedas. Cuando el sistema detecta que el vehículo no está siguiendo la trayectoria esperada, puede aplicar correcciones mediante frenado individual o reducción de potencia para ayudar a mantener la

estabilidad del vehículo (Bosch Mobility, s.f.; National Highway Traffic Safety Administration [NHTSA], 2007). La figura 4 muestra una referencia visual del sensor de guiñada.

Figura 4

Sensor de guiñada



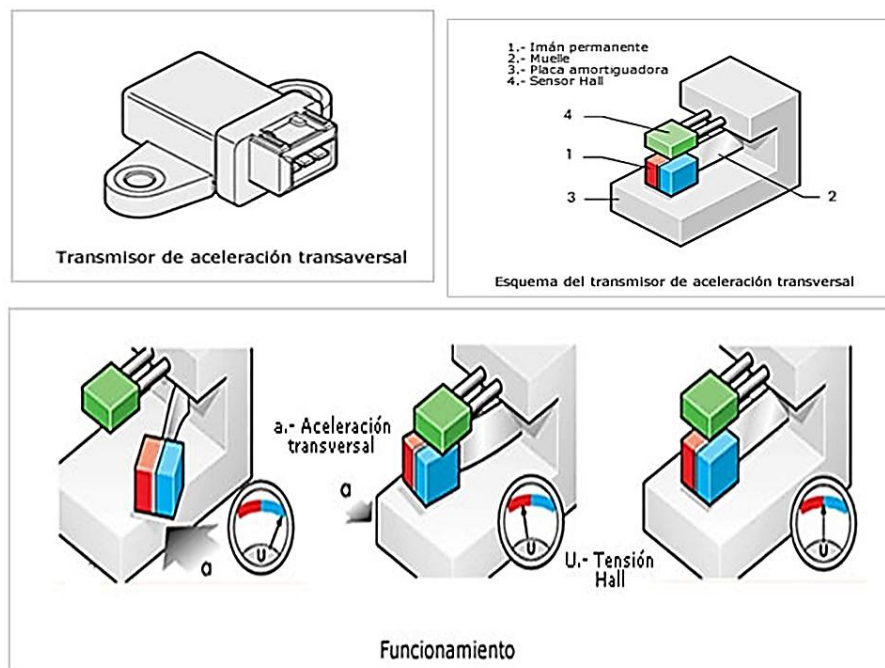
Fuente: (Mercado Libre, s. f.)

2.1.9 Sensor de aceleración lateral

El sensor de aceleración lateral, también conocido como sensor G, mide las fuerzas transversales que actúan sobre el vehículo cuando toma una curva, cambia de carril o realiza una maniobra de emergencia. Esta señal ayuda al módulo VDC a identificar si el vehículo se desplaza de manera estable y, junto con el sensor de guiñada, el ángulo de dirección y las velocidades de rueda, permite comparar la trayectoria esperada con el movimiento real (Bosch Mobility, s. f.). La (SAE International, 2022) incluye la aceleración lateral y la velocidad de guiñada entre las variables utilizadas para evaluar el comportamiento de los sistemas de estabilidad. La figura 5 presenta de forma esquemática el funcionamiento del sensor.

Figura 5

Sensor de aceleración lateral



Fuente: (Ingeniería y Mecánica Automotriz, 2021)

2.1.10 Análisis de variación del diámetro en base al perfil de rueda

La medida de un neumático, por ejemplo 225/65 R17, permite calcular un diámetro nominal aproximado, ya que cada número entrega información sobre sus dimensiones. El valor 225 representa el ancho del neumático en milímetros, el 65 corresponde a la altura del perfil como porcentaje del ancho y R17 indica una construcción radial para un rin de 17 pulgadas. (Gillespie, 1992) señala que las dimensiones geométricas permiten establecer una referencia para relacionar la velocidad angular con el desplazamiento lineal. Sin embargo, (Pacejka, 2012) explica que el neumático se deforma por efecto de la carga, la presión de inflado y las fuerzas presentes durante la marcha, por lo que el radio dinámico puede diferir del valor nominal. Para el neumático analizado, la altura del perfil es $225 \text{ mm} \times 0,65 = 146,25 \text{ mm}$ y el diámetro del rin es $17 \times 25,4 = 431,8 \text{ mm}$. Por lo tanto, el diámetro nominal se calcula de la siguiente manera:

$$D = 431,8 \text{ mm} + 2(146,25 \text{ mm}) = 724,3 \text{ mm}$$

A partir de ese diámetro, la circunferencia nominal aproximada del neumático es de 2,275 m. Este valor sirve como referencia matemática para comprender la relación entre las rpm de rueda y la velocidad lineal. Sin embargo, en uso real el neumático no trabaja con ese diámetro ideal, ya que el peso del vehículo, la presión, la temperatura, el desgaste y la deformación en el contacto con el pavimento reducen o modifican el radio dinámico.

Por este motivo, cuando la presión baja, la rueda necesita girar ligeramente más para recorrer una distancia similar. Esa condición se puede reflejar en una diferencia de rpm de la rueda afectada frente a las otras ruedas, especialmente cuando la comparación se hace durante un mismo instante de conducción.

2.1.11 Función básica de los componentes del sistema ABS/VDC el vehículo

Para que el sistema funcione de manera correcta no trabaja un solo componente, sino varios elementos que se comunican entre sí, la función básica de cada uno se resume de la siguiente manera: la batería y los fusibles alimentan el circuito, además protegen el sistema ante sobre corrientes o fallas eléctricas, el interruptor de encendido habilita el funcionamiento del sistema cuando el vehículo se encuentra en condición de marcha o diagnóstico.

La unidad de control ABS/VDC recibe las señales de las ruedas, compara la velocidad de cada una y, si detecta deslizamiento o bloqueo, ordena la corrección correspondiente, el actuador ABS contiene válvulas y una bomba hidráulica; su función es modular la presión de frenado cuando el sistema necesita evitar el bloqueo de las ruedas o ayudar al control de estabilidad.

Los sensores de velocidad de rueda generan la señal de giro de cada neumático; esta señal es la base para calcular la velocidad individual de las ruedas, el interruptor de freno informa si el conductor está accionando el pedal, permitiendo que el módulo relacione la señal de velocidad con una maniobra de frenado, el sensor de ángulo de dirección informa hacia dónde desea dirigir el vehículo el conductor, por lo que ayuda al sistema VDC a comparar la trayectoria esperada con la trayectoria real, el sensor de guiñada y el sensor de aceleración lateral (sensor G) permiten detectar el movimiento rotacional del vehículo y las aceleraciones

laterales; con estas señales el sistema determina si el vehículo mantiene su estabilidad o presenta una desviación de la trayectoria.

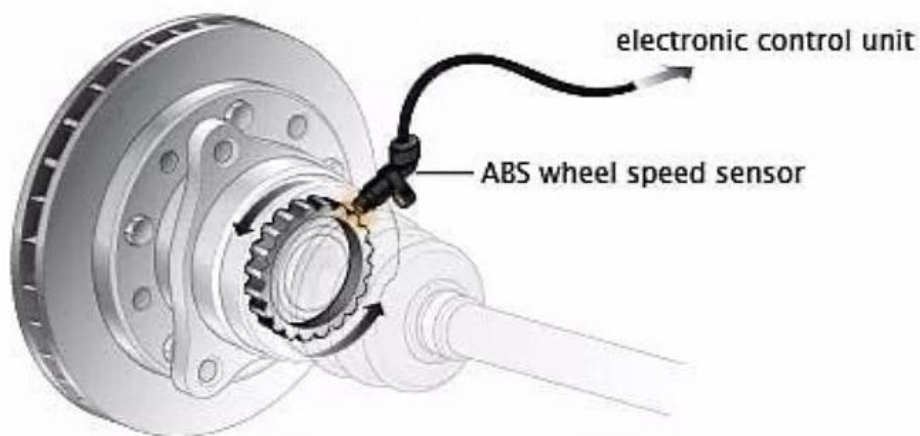
La red CAN permite que los diferentes módulos electrónicos compartan información, como la velocidad del vehículo, el estado del motor, la transmisión, el tablero de instrumentos y otros sistemas de control del chasis, facilitando el funcionamiento coordinado de los sistemas de seguridad y estabilidad.

2.1.12 Ubicación física del sensor de velocidad

El sensor de velocidad de rueda se ubica en la zona interna del conjunto de rueda, normalmente cerca del cubo, rodamiento o porta-mangueta, de esta manera puede leer el giro mediante el encoger el aro generador de señal. Desde afuera no siempre se observa completo, porque queda detrás del rin, del disco de freno y de la mangueta, por eso en la figura 6 se marca una posición referencial para entender mejor dónde trabaja el sensor en el conjunto delantero. La figura 6 muestra una ubicación referencial del sensor de velocidad de rueda.

Figura 6

Esquema real de ubicación referencial del sensor de velocidad de rueda



Fuente: (Ingeniería y Mecánica Automotriz, 2020)

CAPÍTULO III

Obtención de las señales de velocidad del sistema de control dinámico del vehículo

3.1 Enfoque metodológico

La presente investigación se desarrolló con un enfoque experimental, comparativo y aplicado, ya que se trabajó directamente con un vehículo real y se modificó una condición física específica del neumático para observar el comportamiento de las señales entregadas por el sistema de control dinámico. En este caso, la variable que se modificó fue la presión de inflado de la rueda delantera izquierda, mientras que las demás ruedas se mantuvieron en condiciones normales de uso. Con esto se buscó comprobar si una variación de presión puede generar diferencias visibles en la lectura de velocidad de rueda y en la estimación de velocidad del vehículo.

El estudio no pretende intervenir el software del vehículo ni modificar de forma permanente ningún componente del sistema ABS/VDC. La obtención de datos se hizo mediante lectura en vivo con escáner conectado al puerto OBD2, de manera que el análisis se apoya en las señales que el propio vehículo entrega durante la conducción. Esta forma de trabajo se relaciona con el diagnóstico automotriz moderno, donde el técnico interpreta los datos de los módulos electrónicos antes de reemplazar partes o desmontar componentes.

Además, se tomó como respaldo el criterio de que el ESP o sistema de estabilidad compara continuamente el movimiento real del vehículo con la trayectoria esperada utilizando señales de velocidad de rueda, aceleración lateral y guiñada.

3.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación fue de tipo experimental de campo, porque las pruebas se realizaron en una ruta real de conducción y no únicamente en un banco de laboratorio. La prueba consistió en realizar recorridos bajo tres condiciones de presión en la misma rueda intervenida: 40 PSI, 20 PSI y 15 PSI. En cada condición se conectó el escáner al puerto OBD2, se seleccionaron las señales necesarias y se registró el histórico de diagnóstico durante el desplazamiento del vehículo.

La prueba se planteó como una aceleración progresiva desde reposo hasta el rango permitido de circulación, intentando acercarse a 90 km/h. Sin embargo, como el recorrido se realizó en una zona poblada y con tráfico moderado, se priorizó la seguridad y se tomaron como válidos los valores máximos visibles en el registro del escáner.

Tabla 1

Variables de la investigación

Tipo de variable	Variable	Descripción	Unidad / condición
Dependiente	Presión de inflado de la rueda delantera izquierda	Condición modificada para observar la respuesta de las señales de velocidad	40 PSI, 20 PSI y 15 PSI
Dependiente	Velocidad de rueda	Lectura del escáner para cada rueda del vehículo	rpm
Independiente	VSO	Velocidad estimada por el sistema del vehículo	km/h
Controlada	Presión del resto de neumáticos	Las ruedas no intervenidas se mantuvieron conforme a la presión de referencia del vehículo	33 PSI delanteras y 30 PSI traseras según placa
Controlada	Ruta de prueba	Recorrido urbano en Samborondón, con tráfico moderado y límite de velocidad controlado	15,139 km aprox.

Nota. Esta tabla contiene información sobre las diferentes variables que fueron consideradas en esta investigación.

3.3 Especificaciones técnicas del vehículo de prueba

El vehículo utilizado para el ensayo fue un Nissan X-Trail T32, equipado con neumáticos 225/65 R17. Esta medida fue verificada directamente en el costado del neumático y coincide con la placa de presión del vehículo. La selección de este vehículo permitió trabajar con un sistema de seguridad activa moderno, donde la unidad de control recibe información de los sensores de velocidad de cada rueda para realizar el cálculo de velocidad y apoyar el funcionamiento del ABS y del VDC.

Tabla 2

Especificaciones generales del vehículo y neumáticos

Elemento	Descripción
Vehículo de prueba	Nissan X-Trail T32
Sistema analizado	Control dinámico vehicular VDC asociado al sistema ABS
Medida de neumático	225/65 R17 102H
Presión recomendada eje delantero	230 kPa / 2,3 bar / 33 PSI
Presión recomendada eje trasero	210 kPa / 2,1 bar / 30 PSI
Presión neumático de repuesto	420 kPa / 4,2 bar / 60 PSI
Rueda intervenida	Delantera izquierda, lado conductor

Nota. Sacado de la llanta actual del vehículo y tabla del vehículo.**3.4 Características del sistema de control dinámico VDC/ABS**

El sistema de control dinámico vehicular trabaja en conjunto con el ABS y otros sensores del vehículo para reconocer si existe una diferencia entre el movimiento esperado y el movimiento real del automóvil. De forma general, el sistema recibe la información de los sensores de velocidad de rueda, sensor de guiñada, aceleración lateral y otros datos que viajan por la red de comunicación del vehículo. Con esa información, la unidad de control puede reducir potencia del motor o frenar una rueda de manera individual cuando detecta una condición de pérdida de estabilidad. Para esta investigación el sistema fue analizado desde sus señales de diagnóstico, sin desmontar sensores ni intervenir cableado.

Tabla 3

Componentes del sistema VDC/ABS

Componente	Función dentro del sistema	Relación con la prueba
Sensor de velocidad de rueda	Detecta la velocidad rotacional de cada rueda	Permite comparar la rueda intervenida con las demás
Módulo ABS/VDC	Procesa las señales de rueda y aplica correcciones de estabilidad	Genera la lectura diagnóstica consultada con el escáner
Sensor de guiñada	Registra la rotación del vehículo sobre su eje vertical	Ayuda a interpretar si el vehículo presenta giro o desviación
Sensor G D/T	Registra aceleración o desaceleración longitudinal/transversal	Sirve para relacionar el movimiento del vehículo con la señal de velocidad
Red CAN	Transporta datos entre módulos electrónicos	Permite que el escáner consulte los datos en vivo

Nota. Explicación sobre los elementos seleccionados en el escáner

3.5 Diagrama eléctrico del sistema ABS/VDC

El diagrama eléctrico permite ver cómo se comunican los elementos del sistema de frenos y estabilidad, en este caso se observa la alimentación principal, el actuador ABS/VDC, los sensores de velocidad de cada rueda y las líneas de comunicación que conectan el sistema con otros módulos del vehículo, por eso se lo agrega como respaldo técnico del diagnóstico realizado, ver anexo 1.

La siguiente parte del diagrama muestra la relación del sistema ABS/VDC con otras señales importantes del vehículo, entre ellas el interruptor de freno, el sensor de ángulo de dirección, la red CAN y los módulos que ayudan a validar el comportamiento dinámico durante la marcha, ver anexo 2.

3.6 Equipo y herramientas de diagnóstico utilizados

La identificación de equipos se realizó tomando en cuenta los requerimientos de la práctica y los instrumentos disponibles. El equipo principal fue el escáner automotriz marca thinkcar que se conecta con la aplicación Diagzone Pro 2, ya que permitió ingresar al histórico de diagnóstico y seleccionar las señales necesarias del sistema.

También se utilizó un manómetro de presión marca BP para ajustar y verificar la presión real de los neumáticos antes de cada recorrido. El equipo principal se observa en la figura 7, mientras que el manómetro utilizado se muestra en la figura 8.

Figura 7

Equipo de diagnóstico utilizado



Fuente: (Frávega, s. f.)

Figura 8

Manómetro



3.7 Procedimiento experimental

El procedimiento se desarrolló en etapas para mantener el mismo criterio de medición en las tres presiones. Primero se revisó la placa de presión del vehículo y se verificó la medida de los neumáticos. Después se colocó la presión correspondiente en la rueda delantera izquierda y se verificó con el manómetro. Luego se conectó el escáner, se seleccionaron las señales necesarias y se inició el registro del histórico de diagnóstico.

Tabla 4

Secuencia del procedimiento experimental

Etapas	Actividad realizada
1	Inspección visual del vehículo y verificación de medida del neumático
2	Revisión de la presión recomendada por el fabricante en la placa del vehículo
3	Ajuste de la rueda delantera izquierda a 40 PSI, 20 PSI y 15 PSI según la condición
4	Conexión del escáner al puerto OBD2 y selección de señales
5	Prueba de ruta con aceleración progresiva dentro del límite permitido
6	Registro en video del histórico de diagnóstico del escáner
7	Extracción manual de valores visibles desde los fotogramas del video
8	Comparación de la rueda delantera izquierda frente a las demás ruedas y al VSO

Nota. Pasos a paso de la actividad antes, durante y después de cada prueba.

Para cada condición se realizó el recorrido de prueba y se registró en video la pantalla del escáner. Como no se pudo exportar un archivo CSV desde el equipo, los valores fueron tomados directamente de los fotogramas donde se observan las lecturas de cada señal. Esta limitación se compensa con la evidencia visual de los videos y fotografías, lo cual permite mantener la trazabilidad de los datos usados en el análisis.

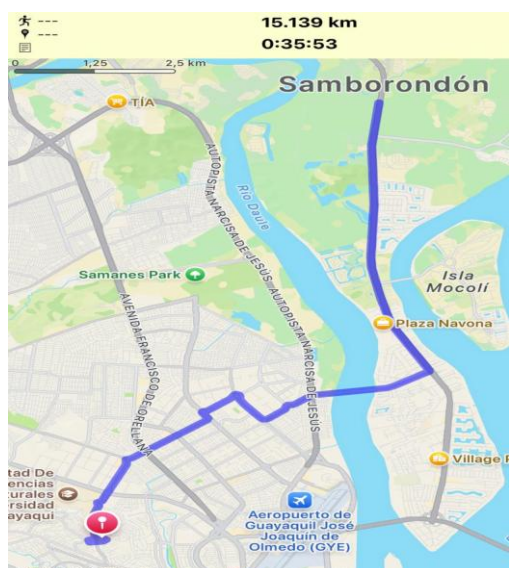
3.8 Selección de ruta y parámetros de tráfico

La ruta de prueba fue realizada en la avenida Samborondón, en dirección hacia la universidad Internacional del Ecuador, bajo condiciones reales de circulación. El recorrido registrado fue de aproximadamente 15,139 km y un tiempo de 35 minutos con 53 segundos. Esta ruta fue escogida porque permite mantener tramos de aceleración progresiva, pero al mismo tiempo representa una condición real de uso urbano, con tráfico moderado y presencia de otros vehículos. La ruta utilizada se presenta en la figura 9.

Debido a que la prueba fue realizada en una zona poblada y en hora pico, la conducción se mantuvo dentro de los límites permitidos. Por esta razón, aunque el objetivo era aproximarse al rango de 90 km/h, el análisis se centró en los valores máximos visibles en el histórico del escáner para cada presión. Esta decisión evita forzar datos y permite trabajar con evidencia real obtenida durante el ensayo.

Figura 9

Ruta de prueba realizada en Samborondón



3.9 Diagnóstico inicial del sistema

Antes de modificar la presión de los neumáticos se realizó una detección inicial con el escáner Thinkcar e interfaz Diagzone Pro 2, esto se hizo para confirmar que los módulos principales del vehículo respondieran correctamente y que el análisis no partiera de una falla electrónica previa, ver anexo 3.

En el informe de pre-reparación se observa que el ECM, ABS, panel de instrumentos, BCM, SRS, HVAC, TCM, EPS, IPDM, puerta de enlace CAN y control de chasis se reportaron como sistemas OK, por eso la variación posterior de las señales se relacionó principalmente con la condición física de la rueda intervenida.

3.10 Presiones de inflado del neumático.

La presión modificada fue únicamente la de la rueda delantera izquierda, porque de esta forma se podía comparar su señal con las otras tres ruedas en una misma condición de marcha.

Se definieron tres niveles: 40 PSI, 20 PSI y 15 PSI. El valor de 40 PSI se usó como condición alta de referencia, mientras que 20 PSI y 15 PSI representaron condiciones de baja presión donde la deformación del neumático empieza a ser más visible. Las condiciones aplicadas se resumen en la tabla 5, y la verificación visual de presiones se presenta en la figura 10.

Tabla 5

Condiciones de presión aplicadas en la rueda delantera izquierda

Condición	Presión aplicada	Criterio de uso
Condición 1	40 PSI	Presión alta utilizada como referencia inicial de prueba
Condición 2	20 PSI	Presión baja con deformación visible del neumático
Condición 3	15 PSI	Presión crítica de prueba con mayor deformación esperada

Nota. Criterio de uso de presión.

Figura 10

Verificación fotográfica de las presiones de prueba con manómetro

**Figura 11**

Evidencia de deformación del neumático durante la prueba de baja presión



3.11 Registro de velocidad de rueda del vehículo

Para el registro de datos se conectó el escáner al puerto OBD2 del vehículo y se seleccionaron las señales que permiten observar el comportamiento de las cuatro ruedas y de la velocidad estimada por la unidad de control. La selección de estas señales fue necesaria para comparar si la rueda delantera izquierda, al cambiar su presión, mostraba una lectura diferente frente a las demás ruedas. Los parámetros seleccionados se muestran en la figura 12 y se resumen en la tabla 6. Las señales seleccionadas fueron: VEL Rued D/I, VEL Rued D/D, VEL Rued T/I, VEL Rued T/D, VSO, SEN GAMA GUIÑAD y SEN G D/T. La señal VSO se tomó como referencia interna de velocidad del vehículo, ya que representa la velocidad estimada después de procesar las señales disponibles. En cambio, las velocidades de rueda

permitieron revisar directamente la diferencia de giro entre la rueda intervenida y las ruedas no intervenidas.

Figura 12

Parámetros seleccionados en el escáner

NISSAN V46.22 > Seleccionar a mano > Central America > Ecuador > X-TRAIL > T32 > 07/2017 > Sistema de frenos antibloqueo (A... 12.40V

Por favor, introduza la contraseña

☐ SOL EX TR DH	☐ SOL EX TR IZ
☐ SOL IN TR DH	☐ SOL IN TR IZ
☐ Testigo ABS	☒ VEL Rued D/D
☒ VEL Rued D/I	☒ VEL Rued T/D
☒ VEL Rued T/I	☐ Voltaje batería
☒ VSO	

7 / 33

Tabla 6

Señales seleccionadas en el escáner

Señal	Descripción	Unidad mostrada
VEL Rued D/I	Velocidad de la rueda delantera izquierda	rpm
VEL Rued D/D	Velocidad de la rueda delantera derecha	rpm
VEL Rued T/I	Velocidad de la rueda trasera izquierda	rpm
VEL Rued T/D	Velocidad de la rueda trasera derecha	rpm
VSO	Vehicle Speed Output o velocidad estimada del vehículo	km/h
SEN GAMA GUIÑAD	Sensor de gama de guiñada o yaw rate sensor	gr/s
SEN G D/T	Sensor G de desaceleración/transversal	G

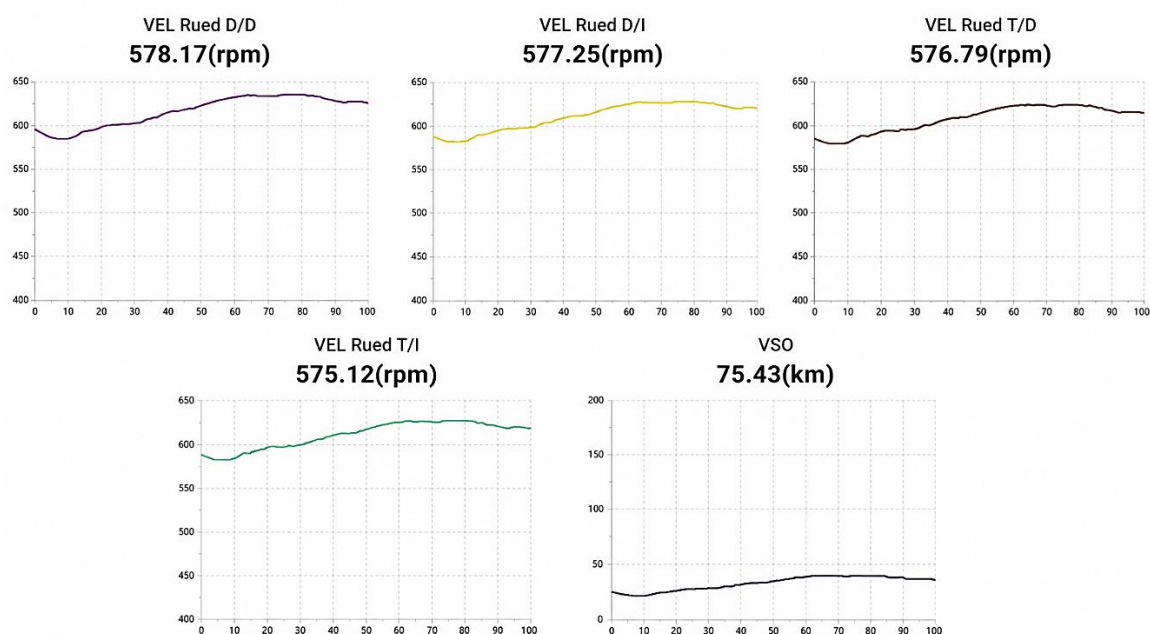
Nota: Datos del escáner registrados en vivo en pruebas

3.12 Obtención de datos a 40 PSI

En la prueba realizada con la rueda delantera izquierda a 40 PSI, se puede observar que las cuatro ruedas mantienen una lectura bastante similar entre sí, la rueda delantera derecha registra 578,17 rpm, la rueda delantera izquierda, que fue la rueda intervenida, registra 577,25 rpm, la rueda trasera derecha marca 576,79 rpm, y la rueda trasera izquierda registra 575,12 rpm, por lo tanto, en esta condición no se evidencia una diferencia fuerte entre la rueda modificada y las demás ruedas del vehículo. El registro del escáner se presenta en la figura 13.

Figura 13

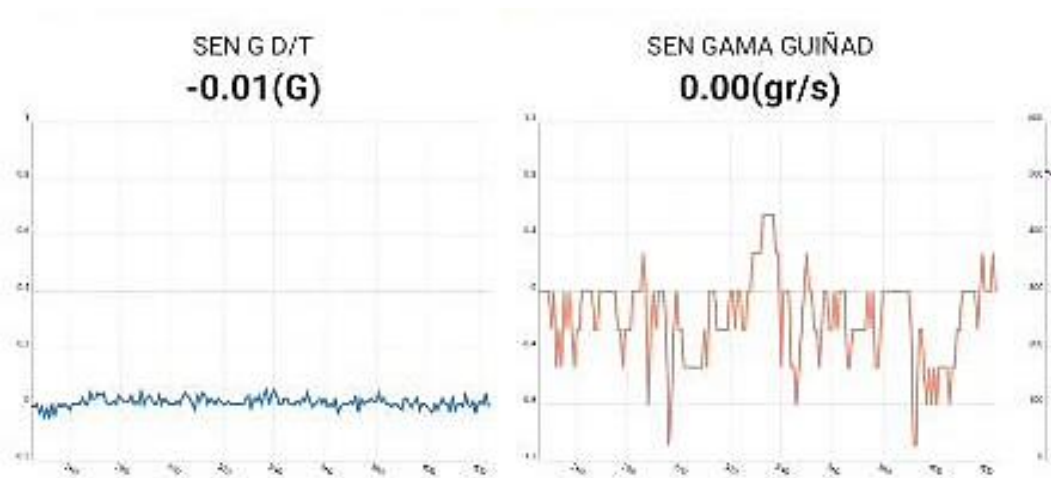
Registro del escáner durante la prueba con 40 PSI



De manera adicional, para esta misma condición se separaron las señales del sensor G D/T y del sensor de guiñada, con el propósito de conservar un registro independiente de su comportamiento durante el recorrido, las curvas obtenidas se presentan en la figura 14.

Figura 14

Gráfica de los sensores G y de guiñada a 40 PSI



Los valores tomados cada cinco segundos se presentan en la tabla 7, estos datos corresponden al proceso de obtención, mientras que su comparación se desarrolla en el apartado 4.2.

Tabla 7

Datos obtenidos de los sensores G D/T y sensor de guiñada a 40 PSI

Tiempo (s)	Sensor G D/T (G)	Sensor de guiñada (gr/s)
0	-0,01	0
5	-0,01	-0,2
10	0	0,1
15	-0,01	-0,4
20	0	0,2
25	-0,01	-0,6
30	0	-0,1
35	0	0
40	-0,01	0,5
45	0	0,6
50	-0,01	0,1
55	0	-0,3
60	0	0,2
65	-0,01	-0,1
70	0	-0,5
75	0,01	-0,2
80	0	0,1
85	0	0,4

Nota. Los datos se consideran cada 5 segundos en 40 PSI

3.13 Obtención de datos a 20 PSI

En la prueba realizada con la rueda delantera izquierda a 20 PSI, se observa que la señal de velocidad de esa rueda empieza a separarse un poco más de las demás, en este caso la rueda delantera derecha registra 622,25 rpm, mientras que la rueda delantera izquierda, que fue la rueda intervenida, registra 624,12 rpm, por otro lado, la rueda trasera derecha marca 618,96 rpm, y la rueda trasera izquierda registra 619,92 rpm, por lo que ya se puede ver una diferencia más clara en comparación con la prueba de 40 PSI. El registro del escáner se presenta en la figura 15.

Figura 15

Registro del escáner durante la prueba con 20 PSI

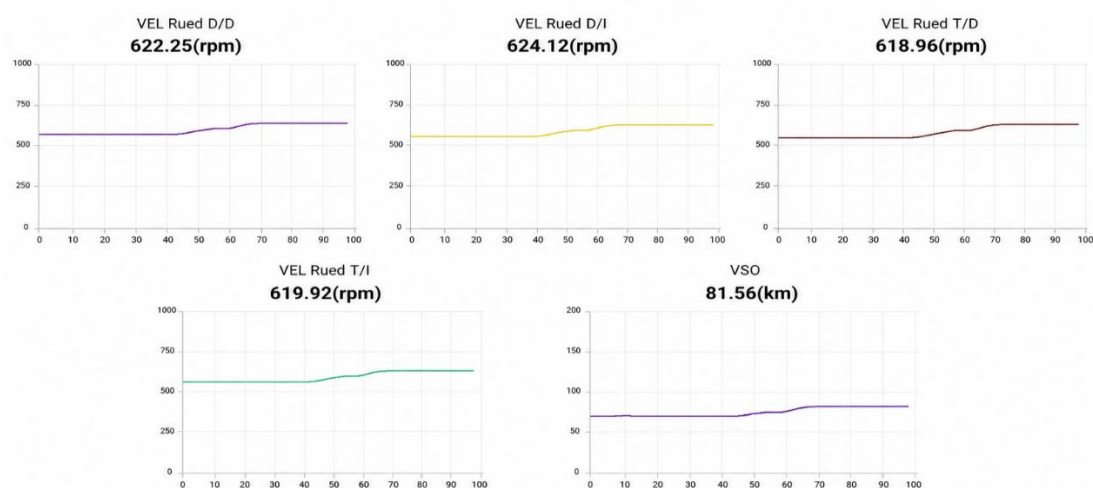


Figura 16

Gráficas del sensor G y de guiñada a 20 PSI



También se separaron las señales del sensor G D/T y del sensor de guiñada correspondientes a la prueba de 20 PSI, las curvas registradas se presentan en la figura 16.

Los valores tomados cada cinco segundos se reúnen en la tabla 8, estos datos se presentan como parte del proceso de obtención y serán analizados de manera comparativa en el apartado 4.2.

Tabla 8

Datos obtenidos de los sensores G D/T y sensor de guiñada a 20 PSI

Tiempo (s)	Sensor G D/T (G)	Sensor de guiñada (gr/s)
0	-0,02	0,1
5	-0,01	0,4
10	-0,01	-0,1
15	0	-0,8
20	-0,01	-0,2
25	-0,02	0
30	-0,01	0,3
35	0	-0,2
40	-0,01	0,1
45	-0,01	0,5
50	-0,02	0,6
55	-0,01	0,3
60	-0,01	0,4
65	0	0,5
70	-0,01	0,3
75	-0,02	0,2
80	-0,03	-0,2
85	-0,02	-0,5

Nota. Los datos se consideran cada 5 segundos en 20 PSI

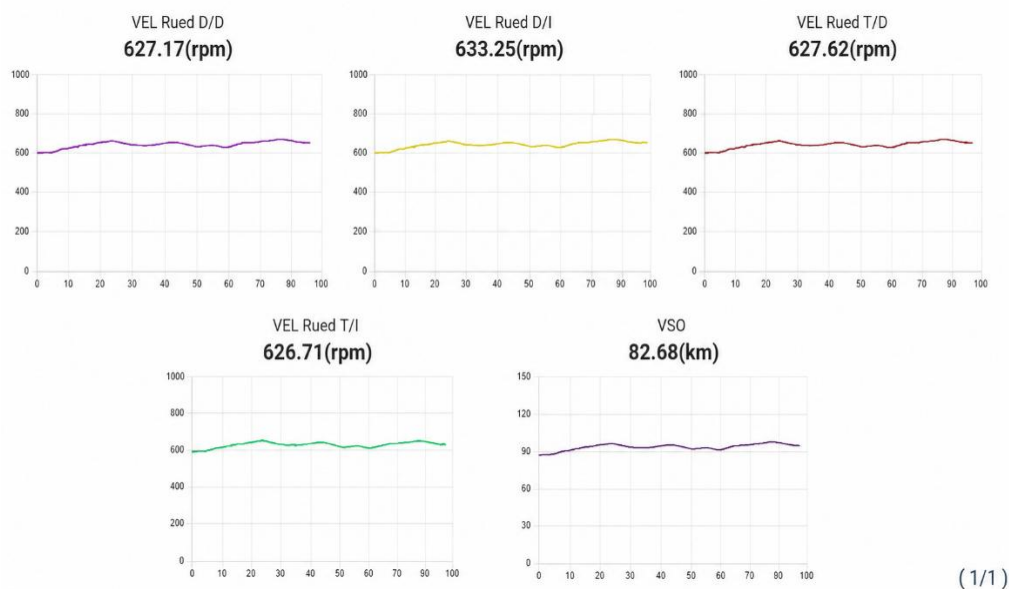
3.14 Obtención de datos a 15 PSI

En la prueba realizada con la rueda delantera izquierda a 15 PSI, se observa la condición donde la diferencia entre la rueda intervenida y las demás ruedas se vuelve más evidente, en este caso la rueda delantera derecha registra 627,17 rpm, la rueda delantera izquierda, que fue la rueda intervenida, registra 633,25 rpm, la rueda trasera derecha marca 627,62 rpm, y la rueda trasera izquierda registra 626,71 rpm, por lo tanto, ya se puede ver

con mayor claridad que la rueda delantera izquierda gira más rápido que el resto. El registro del escáner se presenta en la figura 17.

Figura 17

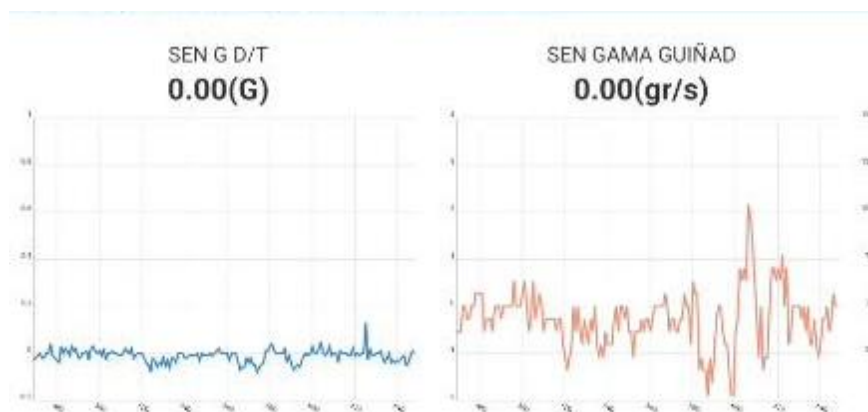
Registro del escáner durante la prueba con 15 PSI



(1/1)

Figura 18

Gráficas de sensor G y de guiñada a 15 PSI



Para completar el registro de esta condición, se separaron las señales del sensor G D/T y del sensor de guiñada, la figura 18 muestra las curvas obtenidas durante la prueba de 15 PSI.

De estas curvas se tomaron valores cada cinco segundos, los cuales se organizan en la tabla 9, en este capítulo se deja constancia de los datos obtenidos, mientras que su análisis conjunto se realiza en el apartado 4.2.

Tabla 9

Datos obtenidos de los sensores G D/T y sensor de guiñada a 15 PSI

Tiempo (s)	Sensor G D/T (G)	Sensor Gama Guiñada (gr/s)
0	-0,01	0,3
5	-0,01	0,5
10	-0,02	0,2
15	-0,01	-0,4
20	-0,02	-0,1
25	-0,01	0,2
30	-0,03	0,1
35	-0,02	0
40	-0,01	0,2
45	-0,02	0,3
50	-0,01	-0,5
55	-0,02	0,4
60	-0,01	0,6
65	0,08	-0,8
70	-0,01	1,4
75	-0,01	0,7
80	-0,02	0,5
85	-0,01	0,3

Nota. Los datos se consideran cada 5 segundos en 15 PSI

3.15 Obtención final de velocidad tangencial de la rueda con variación de presión

Con la circunferencia nominal calculada para el neumático 225/65 R17, se puede hacer una estimación teórica de velocidad lineal a partir de las rpm de la rueda. Esta estimación se usa solamente como referencia matemática, porque el radio real de rodadura cambia durante la marcha. La fórmula aplicada fue:

$$\text{Velocidad teórica (km/h)} = \text{rpm} \times \text{circunferencia nominal (m)} \times 60 / 1000$$

Al aplicar esta relación a la rueda delantera izquierda, se observa que los valores teóricos son mayores que el VSO mostrado por el escáner. Esta diferencia no necesariamente

significa una falla, ya que el VSO es una velocidad calculada por el sistema con algoritmos internos, mientras que la fórmula usa el diámetro nominal y no el radio dinámico real.

Tabla 10

Velocidad teórica estimada para la rueda delantera izquierda

Presión D/I	VSO escáner (km/h)	VEL Rued D/I (rpm)	Velocidad teórica por diámetro nominal (km/h)
40 PSI	75,43	577,25	78,80
20 PSI	81,56	624,12	85,20
15 PSI	82,68	633,25	86,45

Nota. Datos de pruebas de VSO vs velocidad teórica

Al revisar los resultados, se puede observar que la diferencia entre la velocidad teórica y el VSO se mantiene cercana en las tres condiciones, pasando de 3,37 km/h a 40 PSI, a 3,64 km/h a 20 PSI, y finalmente a 3,77 km/h a 15 PSI. Esto muestra que la fórmula conserva una relación bastante parecida con el cálculo del vehículo, pero también deja claro que el valor teórico no representa exactamente la velocidad real, sino una aproximación basada en el diámetro nominal de la llanta.

Los registros del sensor G y del sensor de guiñada se mantuvieron separados de este cálculo, ya que corresponden al comportamiento dinámico del vehículo y no a la conversión de rpm a km/h, su comparación entre 40 PSI, 20 PSI y 15 PSI se desarrolla en el apartado 4.2.

CAPÍTULO IV

Análisis de Resultados

En este capítulo se analiza la información obtenida desde los videos del escáner, tomando en cuenta no solo el valor puntual visible en cada captura, sino también el comportamiento de las curvas durante el flujo de datos, ya que el escáner no muestra únicamente un número final, sino una reacción de las señales mientras el vehículo se encuentra en movimiento. Por esta razón, el análisis no se enfoca solamente en las velocidades de rueda, sino también en el sensor G y en el sensor de guiñada, debido a que estos dos parámetros permiten relacionar la variación de presión con la estabilidad real del vehículo.

Para mantener un mismo criterio de comparación, las rpm de cada rueda fueron transformadas a velocidad tangencial en km/h, usando la circunferencia nominal del neumático 225/65 R17. Esta conversión se usa como una referencia matemática, ya que el neumático en marcha no trabaja con su diámetro ideal, porque la presión de inflado, la carga, la deformación, la temperatura y las condiciones de la vía pueden modificar el radio dinámico real. Por lo tanto, estos valores no deben interpretarse como la velocidad real exacta del vehículo, sino como una forma de comparar el comportamiento de cada rueda bajo las mismas condiciones de análisis.

4.1 Análisis de la variación de velocidad de ruedas

Primero se revisaron las velocidades tangenciales de las cuatro ruedas, calculadas a partir de las rpm observadas en los videos del escáner. Esta conversión permite leer los datos en km/h y compararlos de una forma más sencilla con el VSO del vehículo. Al observar las tres presiones, se aprecia que la rueda delantera izquierda, que fue la rueda intervenida, aumenta de forma progresiva frente al promedio de las otras ruedas cuando la presión baja. Los valores utilizados se presentan en la tabla 11.

Tabla 11

Velocidades tangenciales calculadas a partir de las rpm de rueda

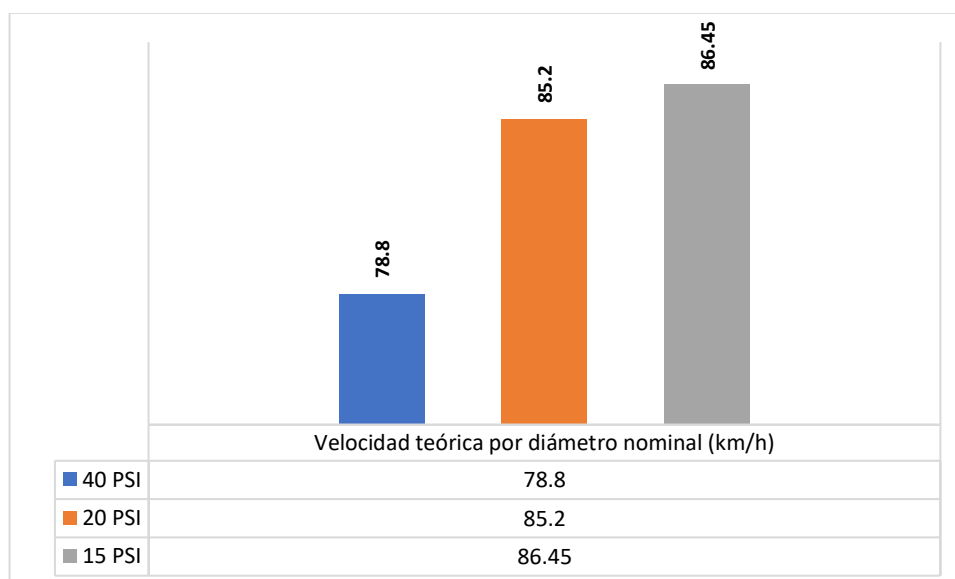
Presión D/I	VEL Rued D/D (km/h)	VEL Rued T/D (km/h)	VEL Rued T/I (km/h)	VSO (km/h)	VEL Rued D/I (km/h)
40 PSI	78,92	78,73	78,50	75,43	78,79
20 PSI	84,94	84,49	84,62	81,56	85,19
15 PSI	85,61	85,67	85,55	82,68	86,44

Nota. Las velocidades de rueda fueron convertidas de rpm a km/h con la circunferencia nominal aproximada del neumático 225/65 R17.

Con 40 PSI, las curvas de las ruedas se mantienen bastante parejas, todas aumentan de manera progresiva y no se observa una separación fuerte de la rueda delantera izquierda frente a las demás, por eso esta condición puede tomarse como una referencia estable dentro del ensayo. En esta presión, la rueda intervenida registró 78,79 km/h, mientras que las otras ruedas se mantuvieron muy cercanas, lo que indica que la diferencia fue mínima. La tendencia comparativa se observa en la figura 19.

Figura 19

Variación de velocidad tangencial de la rueda delantera izquierda a diferentes presiones



Con 20 PSI, la rueda delantera izquierda empieza a mostrar una lectura ligeramente superior, llegando a 85,19 km/h, mientras que las otras ruedas se mantienen un poco por debajo, esta diferencia no se observa solamente como un valor final, sino también en la tendencia de la curva, ya que la señal de la rueda intervenida se mantiene ligeramente más alta durante el tramo analizado. Esto indica que la reducción de presión empieza a generar una variación medible en la lectura de velocidad de rueda.

Con 15 PSI, el efecto se vuelve más evidente, la rueda delantera izquierda alcanza 86,44 km/h, siendo el valor más alto de la comparación, mientras que las demás ruedas permanecen alrededor de 85,55 a 85,67 km/h. Esta diferencia se relaciona con la deformación del neumático, ya que, al reducir la presión, el radio dinámico efectivo disminuye y la rueda necesita girar más para recorrer una distancia similar.

4.2 Análisis de la estabilidad con base en los sensores G y de guiñada

Para analizar la estabilidad se compararon las lecturas del sensor G D/T y del sensor de guiñada en intervalos de cinco segundos para las tres presiones, el sensor G permite observar los cambios de aceleración del vehículo, mientras que el sensor de guiñada muestra el giro sobre su eje vertical, por eso, al revisar ambos datos en conjunto, se puede reconocer si la reducción de presión produjo pequeñas correcciones normales o una variación sostenida de la trayectoria, los valores utilizados se presentan en la tabla 12.

En la condición de 40 PSI, el sensor G se mantuvo entre -0,01 G y 0,01 G, mientras que el sensor de guiñada varió entre -0,60 gr/s y 0,60 gr/s, las señales permanecieron cercanas a cero y los cambios fueron pequeños, por lo que esta presión funciona como la referencia de mayor regularidad dentro del ensayo.

Con 20 PSI, el sensor G presentó valores entre 0,00 G y -0,03 G, mientras que la guiñada se movió entre -0,80 gr/s y 0,60 gr/s, frente a 40 PSI se observa una amplitud un poco mayor, pero los cambios continúan siendo cortos y alternan entre valores positivos y negativos, esto indica que el vehículo realizó correcciones normales durante el recorrido, sin mantener un giro continuo hacia un solo lado.

Tabla 12

Comparación de los sensores G D/T y de guiñada según la presión

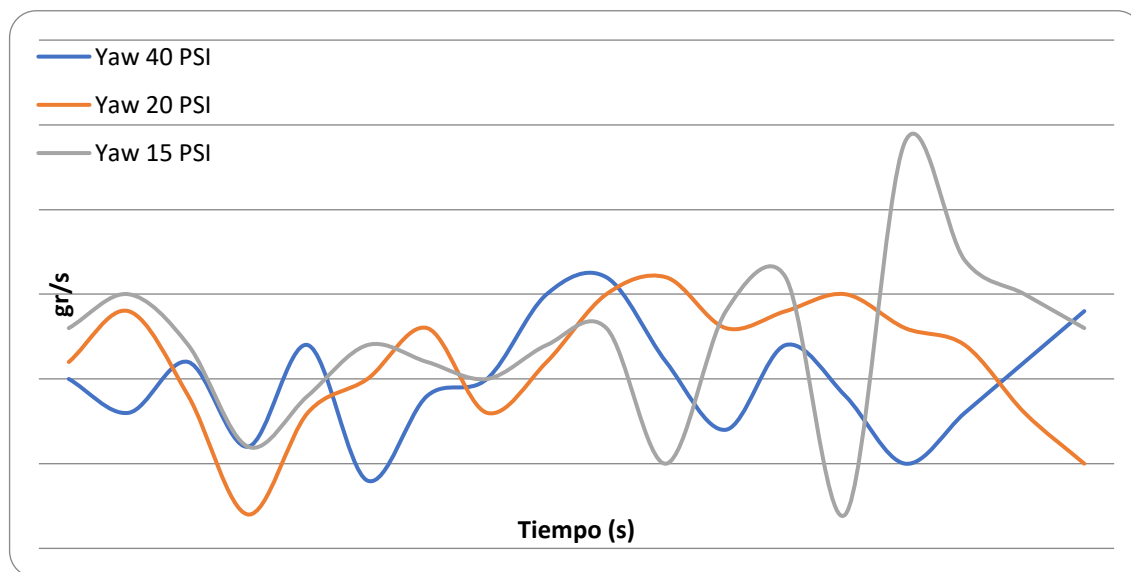
Tiempo	GDT 40	Yaw 40	GDT 20	Yaw 20	GDT 15	Yaw 15
(s)	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI
0	-0,01	0	-0,02	0,1	-0,01	0,3
5	-0,01	-0,2	-0,01	0,4	-0,01	0,5
10	0	0,1	-0,01	-0,1	-0,02	0,2
15	-0,01	-0,4	0	-0,8	-0,01	-0,4
20	0	0,2	-0,01	-0,2	-0,02	-0,1
25	-0,01	-0,6	-0,02	0	-0,01	0,2
30	0	-0,1	-0,01	0,3	-0,03	0,1
35	0	0	0	-0,2	-0,02	0
40	-0,01	0,5	-0,01	0,1	-0,01	0,2
45	0	0,6	-0,01	0,5	-0,02	0,3
50	-0,01	0,1	-0,02	0,6	-0,01	-0,5
55	0	-0,3	-0,01	0,3	-0,02	0,4
60	0	0,2	-0,01	0,4	-0,01	0,6
65	-0,01	-0,1	0	0,5	0,08	-0,8
70	0	-0,5	-0,01	0,3	-0,01	1,4
75	0,01	-0,2	-0,02	0,2	-0,01	0,7
80	0	0,1	-0,03	-0,2	-0,02	0,5
85	0	0,4	-0,02	-0,5	-0,01	0,3

Nota. Datos recopilados de los sensores en las variaciones.

Con 15 PSI, la lectura del sensor G se mantuvo cercana a cero durante la mayor parte del registro, aunque aparece un pico aislado de 0,08 G en el segundo 65, al mismo tiempo, el sensor de guiñada presentó la mayor variación del conjunto, con valores entre -0,80 gr/s y 1,40 gr/s, especialmente entre los segundos 65 y 75, esta condición muestra que la menor presión aumentó la sensibilidad de las señales y generó correcciones más marcadas, sin embargo, al no mantenerse los valores en una sola dirección, no se puede afirmar que existió una pérdida continua de trayectoria.

Figura 20

Variación del sensor de guiñada a 40 PSI, 20 PSI y 15 PSI



El comportamiento comparativo del sensor de guiñada se observa en la figura 20, donde la curva de 15 PSI presenta una amplitud mayor que las curvas de 40 PSI y 20 PSI, especialmente en la parte final del registro, este cambio muestra una respuesta más sensible cuando el neumático trabaja con menor presión, aunque la señal no conserva una tendencia continua, para resumir la lectura conjunta de ambos sensores, la tabla 13 presenta la interpretación de cada presión.

Tabla 13

Síntesis del comportamiento de los sensores G D/T y de guiñada

Presión	Sensor G D/T	Sensor de Guiñada	Interpretación técnica
40 PSI	Señal muy estable, con variaciones entre -0,01 G y 0,01 G.	Oscilaciones pequeñas entre -0,60 gr/s y 0,60 gr/s.	La señal presenta el comportamiento más regular, con pequeñas correcciones de trayectoria.
20 PSI	Variaciones leves, principalmente entre 0,00 G y -0,03 G.	Oscilaciones entre -0,80 gr/s y 0,60 gr/s, sin una tendencia continua.	La mayor deformación del neumático aumenta ligeramente la amplitud de las señales, aunque no se observa una desviación sostenida.
15 PSI	Valores cercanos a cero, con un pico aislado de 0,08 G.	Mayor amplitud, entre -0,80 gr/s y 1,40 gr/s.	Se registran correcciones más marcadas y una mayor sensibilidad, pero no una pérdida continua de estabilidad.

Nota. Comportamiento y efecto de los sensores a las diferentes presiones

4.3 Análisis final de datos recopilados

Para el análisis final se integraron las velocidades tangenciales de las ruedas, el VSO, el sensor G y el sensor de guiñada, con la finalidad de interpretar si la variación de presión afectó únicamente la lectura de velocidad de rueda, o si también generó una condición real de inestabilidad en el vehículo, la tabla 14 integra los valores principales, los datos del sensor G y de guiñada corresponden al valor puntual mostrado por el escáner al momento de la captura, mientras que la variación completa de las curvas fue analizada en el apartado 4.2.

Tabla 14

Análisis final de los datos recopilados

Presión	VEL	Promedio						Radio
D/I	Rued	ruedas no	Diferencia	Diferencia	SEN G	Guiñada	VSO	efectivo
	D/I	intervenidas	(km/h)	(%)	D/T (G)	(gr/s)	(km/h)	estimado
	(km/h)	(km/h)						(m)
40 PSI	78,79	78,72	0,08	0,10	-0,01	0,00	75,43	0,347
20 PSI	85,19	84,68	0,51	0,60	0,00	0,00	81,56	0,347
15 PSI	86,44	85,61	0,83	0,97	0,00	0,00	82,68	0,346

Nota. La diferencia porcentual se calculó comparando la rueda delantera izquierda con el promedio de las tres ruedas no intervenidas.

Los datos muestran que la diferencia de la rueda delantera izquierda frente a las ruedas no intervenidas aumentó conforme se redujo la presión. A 40 PSI, la diferencia fue de 0,07 km/h, a 20 PSI subió a 0,51 km/h, y a 15 PSI llegó a 0,83 km/h, siendo esta la variación más alta registrada. Esto demuestra que la presión baja sí afectó la lectura de velocidad de la rueda intervenida, ya que, al disminuir la presión, el neumático se deforma más en la zona de contacto, reduce su radio dinámico efectivo y necesita girar ligeramente más.

Sin embargo, al relacionar estos datos con el sensor G y el sensor de guiñada, se observa que la variación de presión no generó una condición crítica de estabilidad. El sensor G se mantuvo cerca de cero en las tres pruebas, por lo tanto, no se evidenciaron aceleraciones laterales o longitudinales fuertes que indiquen una pérdida de control. Por otro lado, el sensor de guiñada sí mostró pequeñas variaciones en las gráficas, especialmente a 15 PSI, pero estas variaciones no fueron sostenidas, ni tuvieron una dirección continua, por

lo que se interpretan como correcciones normales de conducción y no como una desviación real del vehículo.

También se debe considerar que la prueba se realizó en una ruta real, con aceleración progresiva y sin maniobras bruscas, por eso no se buscó forzar la activación del sistema VDC ni evaluar el límite dinámico del vehículo. Lo que se comprobó fue que la presión de inflado modifica los datos del escáner, y aunque el conductor no percibió un cambio fuerte en el manejo, la señal de la rueda delantera izquierda sí mostró una tendencia ordenada conforme la presión fue disminuyendo

Esto permite entender que el efecto principal de la variación de presión se reflejó primero en la señal de velocidad de la rueda delantera izquierda, y no directamente en una pérdida de estabilidad del vehículo. En otras palabras, el sistema detectó una diferencia en el giro de la rueda, pero esa diferencia no fue suficiente para generar una respuesta fuerte en el sensor G ni en el sensor de guiñada durante las condiciones de prueba.

Por esta razón, el resultado más importante del capítulo es que una baja presión en el neumático puede generar diferencias medibles en el sistema ABS/VDC, pero no necesariamente se traduce de inmediato en una sensación clara de inestabilidad, especialmente si la conducción es progresiva, sin frenadas fuertes, sin curvas exigentes y sin maniobras bruscas. Aun así, esta diferencia sí es importante para el diagnóstico automotriz, porque puede hacer que el técnico interprete una variación de velocidad de rueda como una posible falla del sensor ABS o del módulo VDC, cuando en realidad puede estar relacionada con la presión, el estado físico o la deformación del neumático.

Conclusiones

Se logró analizar el comportamiento de las señales del sistema de control dinámico del vehículo bajo diferentes presiones de inflado en la rueda delantera izquierda, usando como vehículo de prueba un Nissan X-Trail T32 con neumáticos 225/65 R17, para esto se revisaron las velocidades de las cuatro ruedas, la señal VSO, el sensor G D/T y el sensor de guiñada, lo que permitió tener una visión más completa del comportamiento del vehículo y no solamente una lectura aislada de velocidad de rueda.

Al comparar las tres condiciones de presión, se evidenció que la reducción de presión en la rueda delantera izquierda sí generó una variación en la lectura de velocidad de esa rueda, a 40 PSI la diferencia frente al promedio de las ruedas no intervenidas fue mínima, a 20 PSI la diferencia aumentó, y a 15 PSI se presentó la mayor variación, por lo tanto, se confirma que la presión de inflado influye en la lectura del sensor de velocidad de rueda, principalmente por la deformación del neumático y la variación del radio dinámico efectivo.

La conversión de rpm a velocidad tangencial permitió observar de mejor manera la diferencia entre la rueda intervenida y las demás ruedas, sin embargo, estos valores deben interpretarse como una referencia matemática, ya que fueron calculados con la circunferencia nominal del neumático, mientras que el vehículo trabaja con un radio dinámico real que cambia durante la marcha, por esta razón, la velocidad tangencial calculada no representa exactamente la velocidad real del vehículo, sino una herramienta para comparar el comportamiento de cada rueda bajo las mismas condiciones.

En relación con la estabilidad del vehículo, el sensor G se mantuvo cercano a cero durante las tres pruebas, lo que indica que no existieron aceleraciones o desaceleraciones fuertes asociadas directamente a la variación de presión, de la misma manera, el sensor de guiñada mostró pequeñas oscilaciones durante el flujo de datos, especialmente en la condición de 15 PSI, pero estas variaciones no fueron constantes ni sostenidas hacia un solo lado, por lo tanto, no se evidenció una pérdida real de trayectoria o una condición crítica de inestabilidad durante la conducción.

Finalmente, se concluye que la baja presión en una rueda puede generar diferencias medibles en las señales del sistema ABS/VDC, pero no necesariamente produce una sensación inmediata de pérdida de estabilidad en una conducción normal y progresiva, por eso, en el diagnóstico automotriz, antes de asumir una falla en sensores ABS, módulo VDC, cableado o red de comunicación, primero se debe revisar la presión, medida, desgaste y estado físico de los neumáticos, ya que una condición mecánica simple puede modificar la lectura del sistema.

Recomendaciones

Se recomienda realizar futuras pruebas en una vía controlada o en una pista cerrada, para reducir la influencia del tráfico, irregularidades de la vía y correcciones normales del conductor, ya que esto permitiría mantener una velocidad más constante y observar con mayor claridad el efecto real de la variación de presión sobre las señales de velocidad de rueda, sensor G y sensor de guiñada.

También se recomienda utilizar un escáner o registrador de datos que permita exportar la información en formato CSV, ya que en esta investigación los datos fueron obtenidos desde videos del escáner, lo cual permitió realizar un análisis visual y comparativo, pero no un análisis estadístico completo de todo el recorrido, con un archivo de datos se podrían calcular promedios, máximos, mínimos, desviaciones estándar y curvas más precisas de cada señal.

Para mejorar la validez del procedimiento, se recomienda repetir cada condición de presión varias veces, manteniendo la misma ruta, velocidad objetivo, número de ocupantes y condiciones de conducción, de esta manera se podría comprobar si la tendencia observada a 40 PSI, 20 PSI y 15 PSI se repite en varios ensayos y no depende solamente de un momento puntual del recorrido.

Se recomienda incorporar instrumentos adicionales, como un GPS externo de mayor precisión, medición de temperatura del neumático, presión en frío y presión en caliente, además de una medición directa del radio dinámico bajo carga, ya que estos datos permitirían comparar de mejor manera la velocidad real del vehículo, el VSO calculado por el sistema y la velocidad tangencial obtenida a partir de las rpm de cada rueda.

En el ámbito práctico, se recomienda que los talleres automotrices revisen siempre la presión, medida, desgaste y deformación de los neumáticos antes de diagnosticar una falla electrónica en el sistema ABS/VDC, porque los resultados muestran que una baja presión puede alterar la lectura de velocidad de rueda, y si no se revisa primero la condición física del neumático, se podría llegar a un diagnóstico equivocado o al reemplazo innecesario de sensores y módulos electrónicos.

Referencias

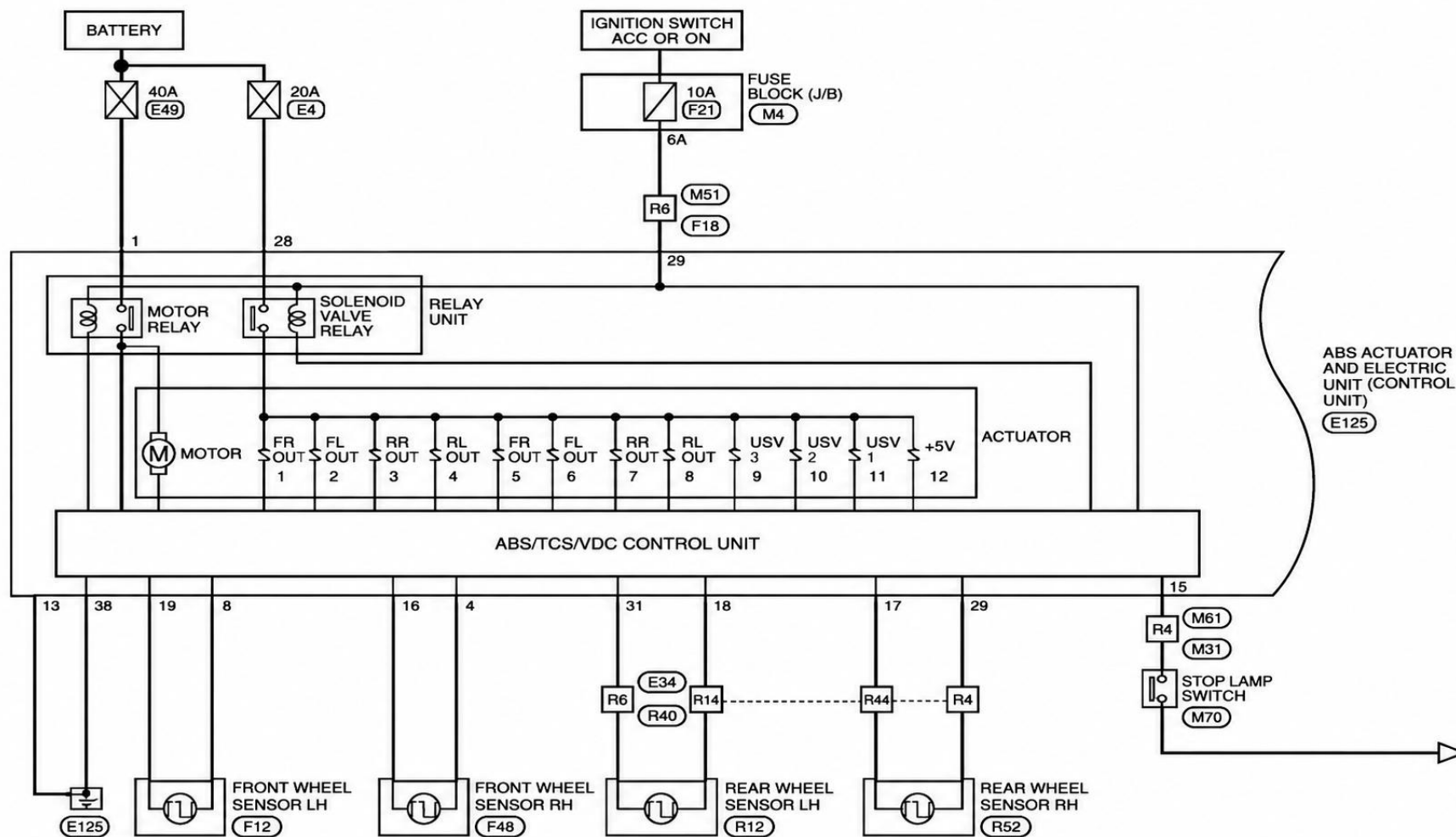
- Bosch Mobility. (s. f.-a). Electronic stability program (ESP®). <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/driving-safety/electronic-stability-program/>
- Bosch Mobility. (s. f.-b). Wheel-speed sensor. <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/sensors/wheel-speed-sensor/>
- Coches.com. (2025, 2 de octubre). Testigo del ESP en el coche: qué significa, por qué se enciende y qué hacer si aparece. <https://noticias.coches.com/consejos/testigo-esp-que-es-y-que-indica/443439>
- Federal Register. (2007). Federal Motor Vehicle Safety Standards; Electronic stability control systems; controls and displays. <https://www.federalregister.gov/documents/2007/04/06/07-1649/federal-motor-vehicle-safety-standards-electronic-stability-control-systems-controls-and-displays>
- Gillespie, T. D. (1992). Fundamentals of vehicle dynamics. SAE International. <https://doi.org/10.4271/R-114>
- Gustafsson, F. (2001). Slip-based tire–road friction estimation. *Automatica*, 33(6), 1087–1099. [https://doi.org/10.1016/S0005-1098\(97\)00038-1](https://doi.org/10.1016/S0005-1098(97)00038-1)[https://doi.org/10.1016/S0005-1098\(97\)00038-1](https://doi.org/10.1016/S0005-1098(97)00038-1)
- International Organization for Standardization. (2006). ISO 21750:2006: Road vehicles - Safety enhancement in conjunction with tyre inflation pressure monitoring. <https://www.iso.org/standard/35983.html>
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 26262-2:2018: Road vehicles - Functional safety - Part 2: Management of functional safety. <https://www.iso.org/standard/68384.html>
- International Organization for Standardization. (2021). ISO 15765-4:2021: Road vehicles - Diagnostic communication over Controller Area Network (DoCAN) - Part 4: Requirements for emissions-related systems. <https://www.iso.org/standard/78384.html>

- Jazar, R. N. (2017). *Vehicle dynamics: Theory and application* (3rd ed.). Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-53441-1>
- Köylü, H. (2020). Experimental study on effects of vehicle speed variations on effective rolling radius according to the changes in tire pressure. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 9(3), 130-137. <https://doi.org/10.18245/ijaet.617966>
- Loja Macías, L. I. (2024). Análisis de funcionamiento del sensor ABS del sistema de frenos del vehículo Kia Sportage 2.0 mediante el uso del equipo Pinpoint Tester [Trabajo de integración curricular, Universidad Internacional del Ecuador]. Repositorio Digital UIDE. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/7589>
- Milliken, W. F., & Milliken, D. L. (1995). *Race car vehicle dynamics*. SAE International.
- National Highway Traffic Safety Administration. (2011). Laboratory test procedure for FMVSS No. 126: Electronic Stability Control Systems (TP-126-03). U.S. Department of Transportation. https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/documents/tp-126-03_tag.pdf
- Nissan Motor Co. (2015). 2016 Rogue NAM service manual: Brake Control System [VDC/TCS/ABS], revisión septiembre 2015.
- Noroña-Merchán, M. V., Puente-Moromenacho, E. G., Remache-Coyago, A. P., & Freire-Rosero, T. E. (2024). Evaluation of fuel used in motorcycles circulating in Guayaquil according to Ecuadorian homologation. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 18(2), 136–151. <https://doi.org/10.29166/revfig.v18i2.6814>
<https://doi.org/10.29166/revfig.v18i2.6814>
- Noroña-Merchán, M. V., Puente-Moromenacho, E. G., Remache-Coyago, A. P., & Freire-Rosero, T. E. (2024). Evaluación del combustible usado en motocicletas que circulan en Guayaquil según la homologación ecuatoriana. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 18(2), 137-152. <https://doi.org/10.29166/revfig.v18i2.6814>
- Pacejka, H. B. (2012). *Tire and vehicle dynamics* (3rd ed.). Butterworth-Heinemann.
[https://shop.elsevier.com/books/tire-and-vehicle-dynamics/pacejka/978-0-08-097016-](https://shop.elsevier.com/books/tire-and-vehicle-dynamics/pacejka/978-0-08-097016-5)

- Portugal Montalvo, A. N., & Obando Moreno, T. D. (2022). Análisis de la variación en la forma de onda de los sensores del sistema de inyección de combustible del vehículo Mazda Allegro 1.6 al usar gasolina Eco y Súper utilizando osciloscopio automotriz [Trabajo de titulación de pregrado, Universidad Internacional del Ecuador]. Repositorio Digital UIDE. https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/5576/1/UIDE-G-TMA-2022-5.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Rabhi, A. E. D., Hartani, K., & Guettaf, Y. (2024). Estimation of vehicle tire effective rolling radius and vertical wheel/road contact force. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. <https://doi.org/10.1177/09544070241232734>
- Rajamani, R. (2012). *Vehicle dynamics and control* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1433-9>
- Robert Bosch GmbH. (2022). *Automotive handbook* (11th ed.). Wiley. <https://www.wiley-vch.de/en/areas-interest/engineering/automotive-handbook-978-1-119-91190-6>
- Ryan, T. P., & Bevly, D. M. (2012). Tire radius determination and pressure loss detection using GPS and vehicle stability control sensors. *IFAC Proceedings Volumes*, 45(20), 1203-1208. <https://doi.org/10.3182/20120829-3-MX-2028.00090>
- Sabatini, S., Formentin, S., Panzani, G., Lozoya-Santos, J. D. J., & Savaresi, S. M. (2017). Motorcycle tire rolling radius estimation for TPMS applications via GPS sensing. In *2017 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA)* (pp. 1892-1897). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CCTA.2017.8062732>
- SAE International. (2022). SAE J670_202206: Vehicle dynamics terminology. https://doi.org/10.4271/J670_202206

Anexo 1

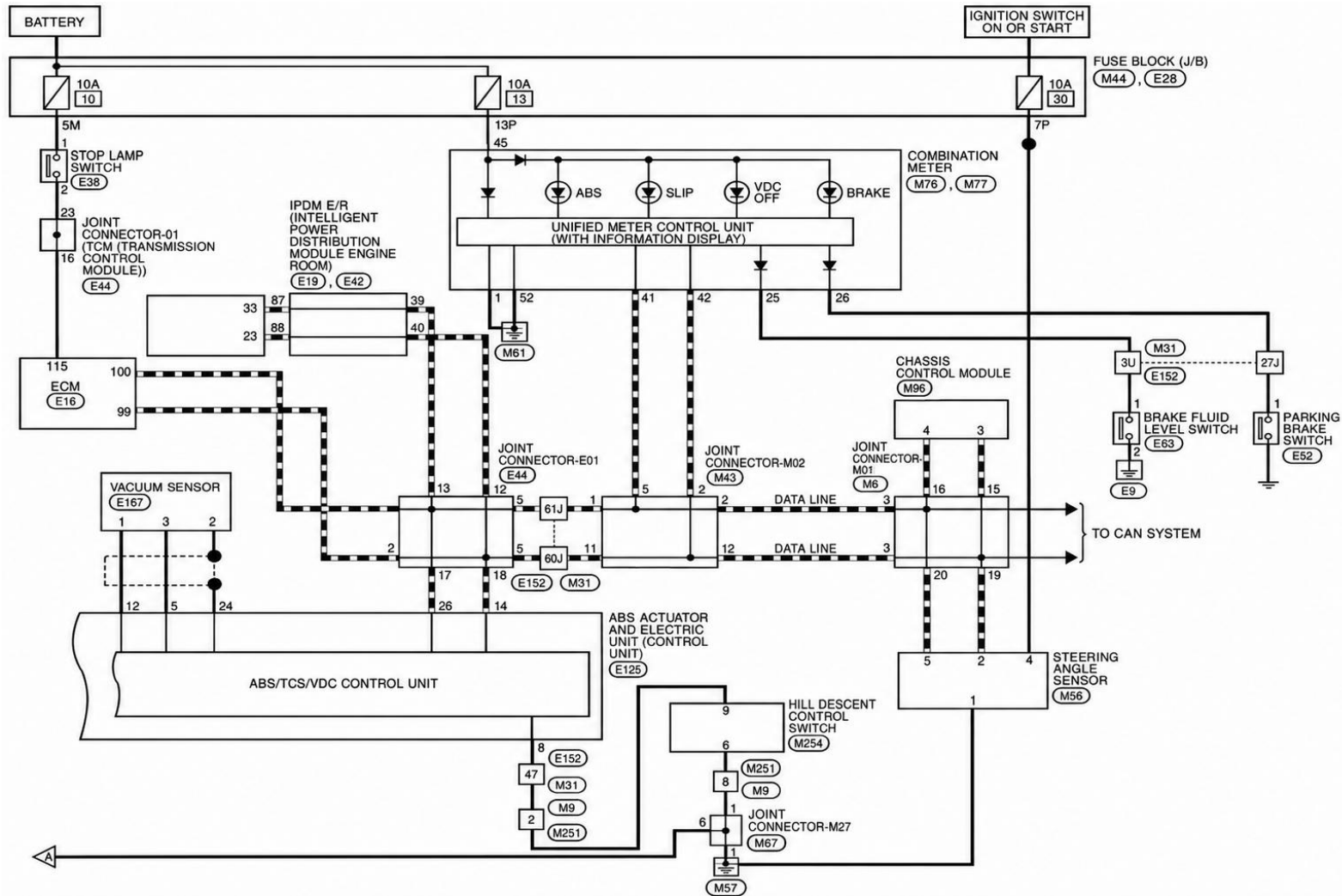
Diagrama eléctrico del sistema ABS/VDC, actuador y sensores de rueda



Fuente: (Nissan Motor Co., 2015)

Anexo 2

Diagrama eléctrico del sistema ABS/VDC, comunicación CAN y módulos de apoyo



Fuente: (Nissan Motor Co., 2015)

Anexo 3**Diagnosis inicial de módulos electrónicos del vehículo**

.....

Información del vehículo

Marca:Nissan

Kilometraje:236792

Versión del software del vehículo:V46.22

Versión de la aplicación de diagnóstico:V2.00.033

DIAGPATH:Seleccionar a mano > Central America > Ecuador > X-
TRAIL > T32 > 07/2017 >

.....

System fault code

Los siguientes sistemas son OK:

- 1.Módulo de control del motor (ECM)
- 2.Sistema de frenos antibloqueo (ABS)
- 3.Panel de instrumentos (IC)
- 4.Sistema de control de carrocería (BCM)
- 5.Sistema de retención suplementario (SRS)
- 6.Sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC)
- 7.Módulo de control de transmisión automática (TCM)
- 8.Dirección asistida eléctrica (EPS)
- 9.Módulo de distribución de energía inteligente (IPDM)
- 10.Puerta de enlace CAN (CG)
- 11.Control de chasis (CC)