



**Diseño y Construcción De Un Tablero Didáctico Para Pruebas En Módulos ABS
En Motocicletas Dominar 400.**

Brayan Mauricio Castaño Ricaurte

Modalidad de Práctica

Carlos Andrés Trujillo Suarez

Profesor del departamento de ingeniería mecánica

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

pregrado

Medellín

2025

Cita	Castaño Ricaurte [1]
Referencia	[1] Castaño Ricaurte, “Diseño y Construcción De Un Tablero Didáctico Para Pruebas En Módulos ABS En Motocicletas Dominar 400”. Trabajo de Grado, Universidad de Antioquia, Medellín, 2025.
Estilo IEEE (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico, primero a Dios, por ser mi guía y darme la fuerza para aguantar y seguir adelante cuando las cosas parecían difíciles. A mi familia, porque sin su paciencia y ese apoyo que nunca me faltó, nada de esto sería realidad y a mis amigos, por estar ahí siempre, por darme ese empujón cuando más me hacía falta y por lograr que todo este proceso fuera mucho más ligero y divertido.

Agradecimientos

Primero, quiero agradecer profundamente a la institución por abrirme sus puertas y darme las herramientas para crecer en lo que me apasiona. De manera especial, mi gratitud al Grupo UMA, por creer en este proyecto y por el respaldo técnico y humano que me brindaron; su guía fue clave para darle forma a mis ideas.

Finalmente, gracias a mis profesores y a cada persona que, con un consejo o una corrección, aportó su granito de arena para que este trabajo saliera adelante. A todos, gracias por el tiempo y la confianza.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. OBJETIVOS	13
A. Objetivo general	13
B. Objetivos específicos	13
III. MARCO TEÓRICO	14
IV. METODOLOGÍA	18
V. ANÁLISIS DE RESULTADOS	19
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
REFERENCIAS	37

LISTA DE TABLAS

TABLA I	OBTENCIÓN DE DATOS DEL MODULO ABS DE LA MOTOCICLETA	21
TABLA II	DATOS DEL MODULO ABS EN EL TABLERO	25
TABLA III	COMPARACION ENTRE LAS SEÑALES REALES Y SIMULADAS	28
TABLA IV	DATOS VELOCIMETRO PRINCIPAL DE LA MOTOCICLETA	30
TABLA V	DATOS VELOCIMETRO SECUNDARIO DE LA MOTOCICLETA	30
TABLA VI	DATOS VELOCIMETRO PRINCIPAL DEL TABLERO	32
TABLA VII	DATOS VELOCIMETRO SECUNDARIO DEL TABLERO	32

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.	Esquema de funcionamiento del sistema ABS.	11
Fig. 2.	Principio básico del efecto hall.	12
Fig. 3.	Sensor de velocidad.	12
Fig. 4.	Esquema del funcionamiento interno del módulo.	14
Fig. 5.	Esquema del funcionamiento interno de un sensor.	15
Fig. 6.	Esquema ABS sin funcionar.	16
Fig. 7.	Señal del sensor de velocidad instalado de fábrica.	17
Fig. 8.	Rueda fónica y sensor de velocidad.	20
Fig. 9.	Voltajes correspondientes a cada cable del módulo ABS.	20
Fig. 10.	Sensor seleccionado para el desarrollo del proyecto.	22
Fig. 11.	Comportamiento de un sensor de velocidad defectuoso.	23
Fig. 12.	Discos de fijación para las ruedas fónicas	24
Fig. 13.	Dimensiones del disco	24
Fig. 14.	Oscilograma del circuito en el tablero.	26
Fig. 15.	Tablero Primario y secundario instalados en el banco.	28
Fig. 16.	ECU de la motocicleta.	29
Fig. 17.	Señal de alerta del ABS.	29
Fig. 18.	Tablero completamente conectado.	31
Fig. 19.	Conector banana-banana y conexión posterior en el tablero.	31
Fig. 20.	Lectura de códigos de error y parámetros en vivo del tablero.	34
Fig. 21.	Habilitación del líquido de frenos.	34

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ABS	Anti-lock Bracking system.
ECU	Engine control unit.
CAN	Controller área network.
CKP	Crankshaft position sensor.
PWM	Pulse width modulation
UG	Ultimate generation
FI	Fuel injection
V	Voltios

RESUMEN

El sistema de frenos antibloqueo (ABS) ha adquirido una relevancia creciente en el sector de motocicletas en Colombia, especialmente en modelos de alto cilindraje como la Dominar 400 de Bajaj distribuida por el grupo UMA. Este sistema mejora la seguridad activa del vehículo al evitar el bloqueo de las ruedas durante frenadas imprevistas y agresivas. No obstante, el diagnóstico y verificación de su funcionamiento representa un desafío técnico, debido al alto costo y limitada disponibilidad de equipos especializados en entornos de capacitación y talleres. Ante esta problemática, el presente proyecto tiene como objetivo diseñar y construir un sistema que permita evaluar de manera funcional dichos módulos y sus sensores, sin que estén instalados en el vehículo. La metodología se basa en el uso de microcontroladores programables (como Arduino) y componentes originales del sistema ABS, integrados en una plataforma que permita la operabilidad. A partir del análisis de variables como la velocidad de giro de las ruedas y la señal enviada desde los sensores se puede observar la respuesta del módulo ABS frente a distintos escenarios y con distintos instrumentos. Los resultados obtenidos demuestran que la simulación reproduce de manera precisa el comportamiento del sistema, permitiendo pruebas de diagnóstico efectivas. En conclusión, se ha desarrollado una herramienta funcional, didáctica y de bajo costo que facilita el aprendizaje y entrenamiento en electrónica automotriz y sistemas de frenos modernos.

Palabras clave — Sistema ABS, simulación, diagnóstico automotriz, microcontroladores, formación técnica.

ABSTRACT

The anti-lock braking system (ABS) has gained increasing relevance in the motorcycle sector in Colombia, particularly in high-displacement models such as the Dominar 400 by Bajaj, distributed by GRUPO UMA. This system enhances the vehicle's active safety by preventing wheel lock-up during sudden and aggressive braking. However, diagnosing and verifying its proper operation poses a technical challenge due to the high cost and limited availability of specialized equipment in training environments and workshops. To address this issue, the present project aims to design and build a system that enables the functional evaluation of ABS modules and their sensors without requiring them to be installed on the vehicle. The methodology is based on the use of programmable microcontrollers (such as Arduino) and original ABS components, integrated into a platform that enables system operability. By analyzing variables such as wheel rotational speed and the signals sent from the sensors, it is possible to observe the ABS module's response under various scenarios and using different instruments. The results obtained demonstrate that the simulation accurately reproduces the system's behavior, allowing for effective diagnostic testing. In conclusion, a functional, educational, and low-cost tool has been developed to facilitate learning and training in automotive electronics and modern braking systems.

Keywords — ABS system, simulation, automotive diagnostics, microcontrollers, technical training.

I. INTRODUCCIÓN

La incorporación de tecnologías electrónicas en motocicletas ha presentado un crecimiento sostenido en los últimos años, particularmente con la implementación del sistema antibloqueo de frenos, conocido como ABS, en modelos de media y alta cilindrada. Este tipo de sistema contribuye significativamente al aumento de la seguridad activa del conductor, ya que evita el bloqueo de las ruedas durante frenadas bruscas o sobre superficies con baja adherencia. En efecto, permite mantener el control del vehículo y reduce el riesgo de accidentes asociados a la pérdida de tracción.

En Colombia, una de las motocicletas representativas de esta tendencia es la Dominar 400 de Bajaj, distribuida por el Grupo UMA, la cual incorpora un sistema ABS de doble canal como parte de su equipamiento estándar. La unidad del ABS es una combinación de controles eléctricos e hidráulicos. La ECU del ABS recibe una señal de pulso de los sensores de velocidad de ambas ruedas, y de acuerdo con ello controla el flujo del líquido de freno que va hacia el caliper. El módulo se encuentra debajo del tanque de combustible. La conexión hidráulica del cilindro maestro al caliper de la rueda delantera está dirigida por la unidad del ABS. La señal de los sensores de las ruedas abre o cierran las válvulas solenoides en la unidad, con ello controla el flujo del aceite hidráulico hacia la llanta. [1] Teniendo en cuenta su creciente presencia en el parque automotor nacional, resulta fundamental entender el funcionamiento, diagnóstico y mantenimiento de estos sistemas. Sin embargo, la verificación técnica del módulo presenta una importante complejidad, dado que requiere equipos de diagnóstico especializados, cuyo acceso resulta limitado tanto en ambientes de formación técnica como en talleres de servicio técnico.

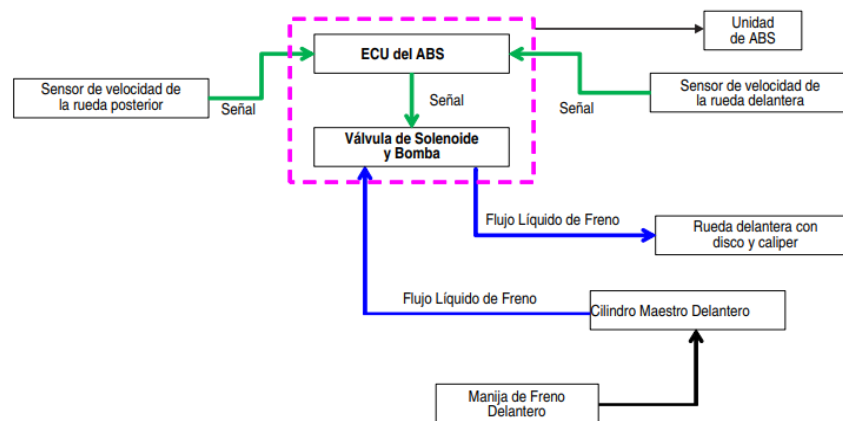


Fig. 1. Esquema de funcionamiento del sistema ABS [1].

Con el mismo objetivo de este sistema simulado, se han desarrollado sistemas eléctricos y electrónicos como es el caso de la simulación del funcionamiento del sensor CKP [2] y la interacción de esta señal con los otros componentes del vehículo. Esto fue hecho tanto para el vehículo del proyecto como para otro modelo, de la misma marca, por consiguiente, existe una oportunidad para adaptar estas experiencias a las necesidades particulares del sector de motocicletas. En este contexto, el desarrollo de un sistema didáctico funcional que permita simular el comportamiento de un módulo ABS de motocicleta cobra especial importancia como aporte al fortalecimiento de capacidades técnicas.

El problema principal identificado radica en la carencia de herramientas más confiables que permitan al personal técnico la familiarización y evaluación de estos módulos sin que se encuentren instalados directamente en el vehículo, lo cual representa una barrera significativa en los procesos de formación, capacitación técnica y diagnóstico electrónico. Dado que se trata de un sistema específico para un modelo particular, se plantea como alternativa el diseño y montaje de una plataforma de simulación con conexiones eléctricas reales sobre un tablero didáctico. Esta herramienta permitirá evaluar el módulo y la funcionalidad de los componentes asociados, emulando las condiciones reales de operación mediante el uso de microcontroladores, señales PWM y sensores basados en el efecto Hall. Estos sistemas producen pulsos eléctricos cada vez que un imán pasa frente a un sensor Hall, fenómeno descubierto en 1879 por Edwin Herbert Hall [3], quien estableció que cuando un conductor por el que circula una corriente eléctrica se

encuentra sometido a un campo magnético, se genera una tensión eléctrica perpendicular tanto a la corriente como al campo aplicado. De esta manera, se logra reproducir el comportamiento real de los sensores de velocidad, brindando una experiencia de aprendizaje más completa y personalizada.

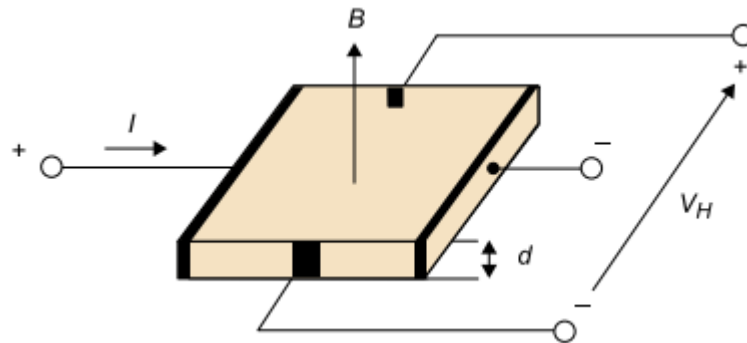


Fig. 2. Principio básico del efecto hall.

Donde:

V_H = Tensión Hall.

d = semiconductor.

I = corriente eléctrica.

B = campo magnético.



Fig. 3. Sensor de velocidad.

Este proyecto consiste en la construcción de un sistema de simulación funcional de ABS como recurso pedagógico y técnico. De manera general, la metodología se centra en la integración de componentes electrónicos originales de la motocicleta, la programación de escenarios de frenado simulados y la evaluación de respuestas del módulo observadas mediante el uso de herramientas

de diagnóstico. Como resultado esperado, se prevé contar con una plataforma práctica, de bajo costo, que no solo sirva como apoyo al proceso de enseñanza, sino también como herramienta de diagnóstico electrónico ya que muchos modelos de la marca cuentan con sistemas de funcionamiento similar y procedimientos de diagnóstico que en muchas ocasiones se realizan de la misma forma ampliando así el uso práctico del sistema de simulación.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Desarrollar un tablero didáctico interactivo que simula las condiciones operativas del módulo ABS en motocicletas Dominar 400, mediante la integración de microcontroladores, señales PWM y sensores originales del vehículo, con el fin de optimizar los procesos de diagnóstico técnico y fortalecer la formación especializada en electrónica automotriz.

B. Objetivos específicos

- Diseñar un prototipo de tablero didáctico con interfaces de diagnóstico visual y puntos de prueba accesibles, adaptado específicamente a la arquitectura del sistema ABS de la motocicleta Dominar 400, que permita su evaluación mediante escáner automotriz, multímetro y osciloscopio.
- Identificar las fallas más comunes en el módulo ABS mediante el análisis de sus señales eléctricas y de comunicación, considerando variables como las señales provenientes de los sensores de rueda, la presión hidráulica del sistema de frenos y la transmisión de datos a través del protocolo CAN bus.
- Simular errores en el funcionamiento del módulo ABS replicando condiciones de fallas en los sensores, el circuito hidráulico y la red de comunicación electrónica, para observar la

respuesta del sistema ante estas anomalías.

- Integrar un sistema de generación de señales PWM configurable, que permite variar parámetros como la frecuencia y el ciclo de trabajo, con el fin de interpretar el comportamiento del módulo ABS frente a distintas condiciones de operación.

III. MARCO TEÓRICO

En el sistema ABS, la unidad del vehículo detecta la posibilidad de que las ruedas se bloqueen tomando la señal del sensor de velocímetro ubicado en ambas ruedas. Cuando las ruedas están a punto de bloquearse, el controlador hidro-eléctrico controla la presión del líquido de freno en la llanta para prevenir así que las ruedas se bloqueen, evitando accidentes.

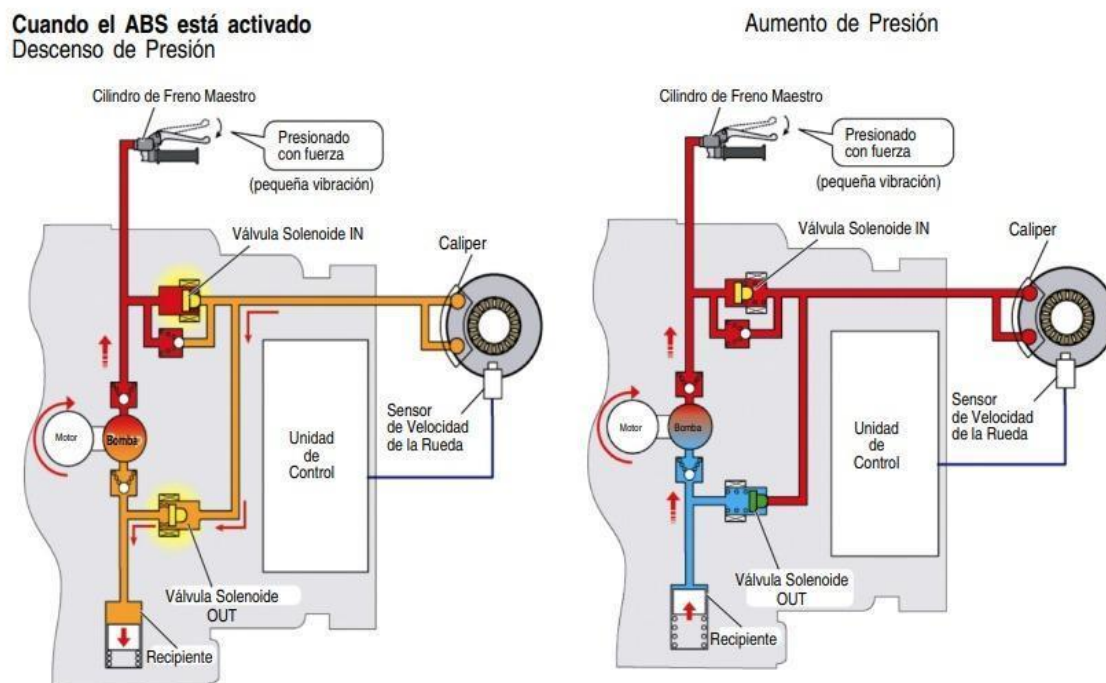


Fig. 4. Esquema del funcionamiento interno del módulo [1].

Los sensores de velocidad de rueda es un sensor inductivo de tipo efecto Hall, utilizado en el sistema antibloqueo de frenos (ABS) para medir con precisión la velocidad de giro de cada rueda. Su funcionamiento se basa en la detección de variaciones del campo magnético producidas por

el paso de los dientes de un aro fónico solidario a la rueda. De manera lógica, estas variaciones permiten convertir la magnitud física de la velocidad de rotación en una señal eléctrica que es procesada por la unidad de control del sistema ver figura 4 [3] [4]; estos sensores son generalmente de tipo activo y disponen de dos conductores: uno para la alimentación eléctrica y otro que cumple simultáneamente la función de masa y salida de señal. A diferencia de los sensores pasivos, los sensores activos generan una señal digital en forma de onda cuadrada incluso a bajas velocidades, basando su principio de operación en el efecto Hall o en tecnologías magnetorresistivo, lo que garantiza una medición estable y confiable.

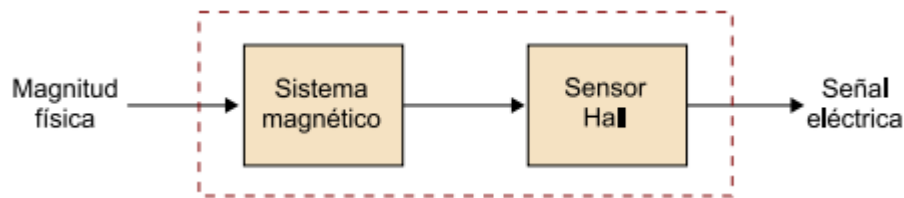


Fig. 5. Esquema del funcionamiento interno de un sensor [3].

Como lo explica el fabricante [1]; cuando el módulo no está activado, la señal eléctrica de la unidad de control está apagada, la válvula solenoide IN está abierta y la válvula solenoide OUT está cerrada. La presión del fluido en el cilindro maestro durante el frenado se transmite directamente a la rueda por medio de la válvula solenoide IN. Este es el sistema de frenado normal, donde el conductor controla directamente el frenado con la manija de freno.

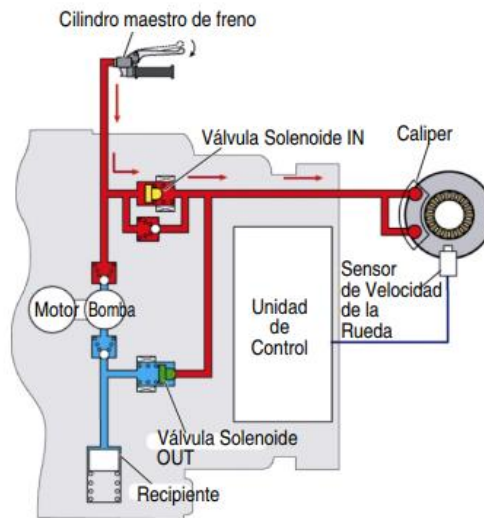


Fig. 6. Esquema ABS sin funcionar [1].

En un vehículo de dos ruedas se presta particular atención a la rueda delantera, ya que esta requiere una gran fuerza de frenado al mismo tiempo que es crucial para la estabilidad de manejo. Normalmente, el deslizamiento de las ruedas es la variable más importante para el procesador del módulo. Sin embargo, para ello es necesario determinar la velocidad del vehículo. Esto supone un reto particular en vehículos de dos ruedas. Por ejemplo, si la rueda trasera se levanta al frenar bruscamente, la velocidad de la rueda trasera deja de coincidir con la velocidad de conducción. A partir de la velocidad restante de la rueda delantera, es necesario estimar simultáneamente la velocidad del vehículo y calcular el deslizamiento de las ruedas. Dado que en esta situación ambas variables ya no pueden determinarse con fiabilidad, el ABS para motocicletas utiliza, además del deslizamiento, indicadores adicionales, como la desaceleración de las ruedas, para detectar la inestabilidad de las ruedas [5]. Todo este proceso es realizado por la computadora del módulo mediante la señal enviada por los sensores ubicados en las ruedas que como se ha explicado antes permiten la activación del sistema de frenado en la motocicleta.

Las señales digitales cumplen un papel fundamental en el funcionamiento del sistema antibloqueo de frenos (ABS), ya que permiten una comunicación precisa y rápida entre los sensores de velocidad y la unidad de control. Estas señales, enviadas por los sensores, adoptan una forma cuadrada como se muestra en la figura 5, alternando entre dos niveles de voltaje que representan

estados lógicos de encendido (alto) y apagado (bajo). A través de esta señal digital, el sensor transmite al módulo ABS la información sobre la velocidad de rotación de las ruedas mediante pulsos cuya frecuencia varía proporcionalmente al giro del aro dentado. Gracias a estas señales, la unidad puede realizar ajustes instantáneos en la presión de frenado, garantizando un mayor control y seguridad, donde la estabilidad es más crítica.

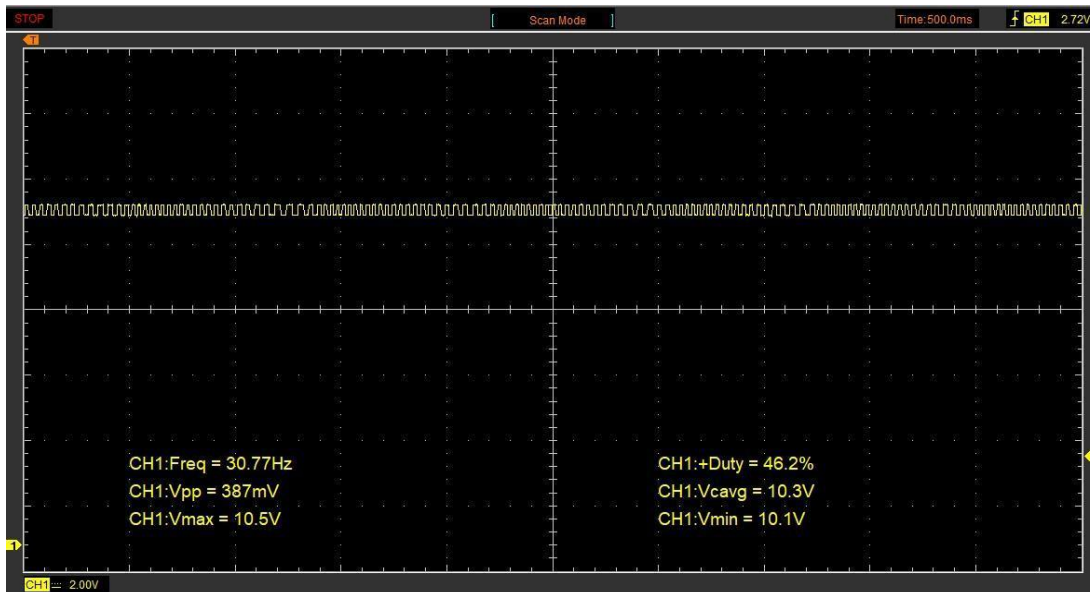


Fig. 7. Señal del sensor de velocidad instalado de fábrica.

Aunque la comprensión del funcionamiento de los sensores resulta fundamental para el análisis del sistema de monitoreo de velocidad en motocicletas, es igualmente importante considerar la interacción del módulo sensor con otros componentes eléctricos y electrónicos del vehículo. Esta interacción puede analizarse de manera más precisa utilizando como referencia los diagramas eléctricos y la documentación técnica contenida en el manual de servicio y el manual de partes del vehículo, los cuales han sido obtenidos de la base de datos oficial del Grupo UMA.

Dichos manuales proporcionan esquemas detallados que representan la arquitectura del sistema eléctrico, incluyendo la ubicación, conexión y función de cada uno de los componentes. Un elemento destacado de estos diagramas es el código de colores asignado a los conductores eléctricos, el cual permite una identificación visual rápida y efectiva. Esta codificación facilita la caracterización e identificación de las señales, la localización de fallas, la verificación de

alimentaciones y masas, así como el seguimiento de las líneas de señal hacia y desde el sensor.

En conjunto, la interpretación adecuada de estos diagramas no solo contribuye al entendimiento integral del sistema electrónico, sino que también optimiza los procesos de diagnóstico, mantenimiento y validación de funcionamiento del sensor en el contexto del sistema completo de la motocicleta.

IV. METODOLOGÍA

El presente trabajo se sustenta en un enfoque metodológico mixto, el cual integra herramientas tanto cuantitativas como cualitativas con el propósito de alcanzar una comprensión profunda, estructurada e integral del comportamiento del sistema de frenos antibloqueo (ABS) bajo estudio. Esta combinación de enfoques no solo permitió una evaluación objetiva de los parámetros eléctricos involucrados, sino también una valoración subjetiva y contextualizada de la interacción humana con el sistema diseñado.

Desde el enfoque cuantitativo, se llevó a cabo un proceso de caracterización de las señales eléctricas generadas por los sensores de velocidad ubicados en las ruedas del vehículo, así como aquellas que son procesadas y utilizadas por el módulo ABS. Para ello, se realizaron mediciones precisas de parámetros como voltajes, frecuencias, ciclos de trabajo (duty cycle) y tiempos de respuesta ante cambios en las condiciones de operación. Estas mediciones permitieron identificar el comportamiento dinámico de las señales en distintos escenarios, tales como frenado brusco, pérdida de adherencia o variación en la velocidad de rotación de las ruedas, contribuyendo así a validar la fidelidad de la simulación frente a situaciones reales.

De manera complementaria, el enfoque cualitativo permitirá la observación y el registro de la experiencia del técnico durante la interacción con el sistema desarrollado. Se hará documentación de la percepción del usuario frente a la utilidad del prototipo como herramienta de formación, destacando aspectos como la facilidad de interpretación de las señales simuladas, la capacidad de replicar fallas comunes en los sistemas ABS y la posibilidad de analizar su comportamiento sin comprometer la seguridad o integridad de un vehículo real. Este tipo de retroalimentación resultó clave para validar la aplicabilidad del sistema en contextos educativos, talleres de formación

técnica y procesos de mantenimiento especializado en motocicletas o vehículos con tecnología similar.

Para el desarrollo integral del proyecto, se implementarán diversas técnicas experimentales, combinadas con simulación electrónica y programación de microcontroladores. Esta integración tecnológica permitió construir un entorno controlado, seguro y replicable, donde fue posible observar y analizar fenómenos eléctricos asociados al funcionamiento del sistema ABS, así como validar hipótesis relacionadas con su diagnóstico y comportamiento frente a fallos inducidos.

El uso de un enfoque mixto no solo fortalece la validez del análisis técnico, sino que también aporta una perspectiva más completa del potencial pedagógico y funcional del sistema, abriendo la puerta a futuras mejoras orientadas a la formación técnica y profesional además del desarrollo de herramientas de bajo costo para el análisis de tecnologías vehiculares avanzadas.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La señal registrada en el osciloscopio (figura 5) corresponde al sensor de velocidad utilizado en sistemas ABS, el cual genera una onda cuadrada digital con niveles de voltaje que oscilan entre aproximadamente 10.1 V y 10.5V. En la captura se observa una frecuencia de 30.77 Hz y un voltaje promedio de 10.3 V, lo que sugiere una señal simétrica y estable. Este tipo de salida es característica de sensores con electrónica integrada, diseñados para entregar pulsos limpios y de fácil interpretación por módulos de control electrónico o microcontroladores.

Considerando que la rueda fónica como se le conoce a la rueda que crea las señales digitales cuenta con 48 dientes, la frecuencia observada permite calcular una velocidad de rotación cercana a 38.5 revoluciones por minuto (RPM), lo cual coincide con una prueba hecha a baja velocidad esta prueba se realizó girando la rueda manualmente para capturar dicha señal bien definida permite caracterizar el comportamiento dinámico de la rueda en tiempo real, lo que resulta fundamental para aplicaciones como el control de tracción, el diagnóstico de sistemas de freno o el desarrollo de herramientas didácticas basadas en adquisición y procesamiento de señales.

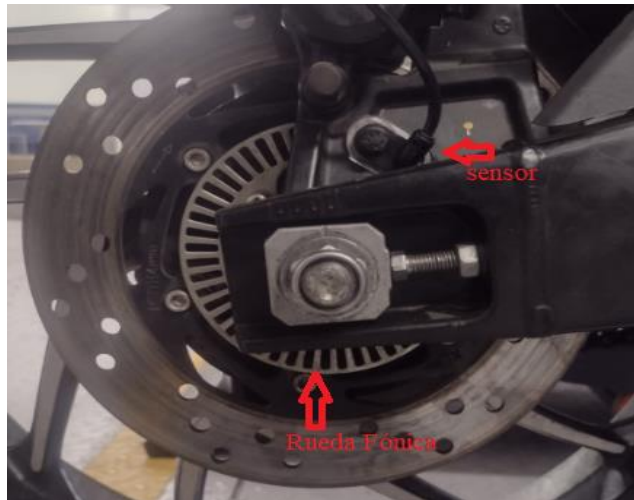


Fig. 8. Rueda fónica y sensor de velocidad.

Parte del proceso de caracterización consiste en la identificación precisa de cada uno de los cables que lo componen, así como el análisis de sus respectivos niveles de voltaje y funciones dentro del ramal eléctrico del vehículo. Esta etapa permite comprender la lógica de funcionamiento del sistema, ya que cada conductor cumple un rol específico, ya sea de alimentación, masa, señal de entrada o salida, o comunicación con otros módulos electrónicos (figura 7).

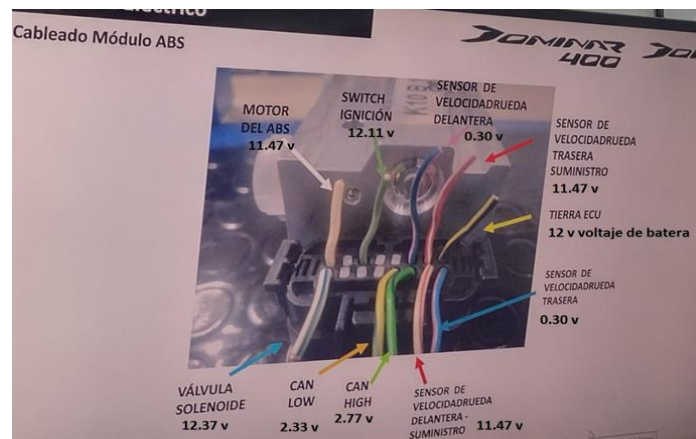


Fig. 9. Voltajes correspondientes a cada cable del módulo ABS.

Mediante la medición de voltajes en condiciones reales de operación, es posible determinar el estado de cada línea, verificar la integridad de las conexiones y detectar posibles fallos, como caídas de tensión, rupturas en el aislamiento o señales ausentes. Además, esta información resulta esencial para construir esquemas de conexión confiables, implementar sistemas de monitoreo o

simulación, y asegurar la compatibilidad eléctrica al integrar el módulo con dispositivos externos como microcontroladores, analizadores lógicos u osciloscopios. Por tanto, esta tarea no solo garantiza una correcta comprensión del sistema, sino que también facilita intervenciones técnicas seguras y precisas. En la Tabla I se detallan los datos obtenidos durante la toma de mediciones eléctricas en el sistema de la motocicleta. La información se organiza considerando el código y color de cada cable, su respectiva descripción, la función específica dentro del sistema (por ejemplo, comunicación CAN, sensores de velocidad de llantas, válvula solenoide, alimentación de módulos o puesta de encendido) y el voltaje medido en cada uno de ellos bajo condiciones de prueba. Esta recopilación de datos permite identificar el estado de las señales eléctricas, verificar la correcta alimentación de los componentes y facilitar el diagnóstico de posibles fallas en el sistema.

TABLA I
OBTENCIÓN DE DATOS DEL MODULO ABS DE LA MOTOCICLETA

Cable	Descripción	Funcion	Voltaje (V)
W/L	Blanco/azul	Válvula solenoide	12.37
Y/L	Amarillo/Azul	Can low	2.33
G/L	Verde/Azul	Can high	2.77
W/R	Blanco/Rojo	Sensor velocidad llanta delantera(suministro)	11.47
L/Pi	Azul/Rosa	Sensor velocidad llanta delantera	0.3
L/O	Azul/Naranja	Sensor velocidad llanta trasera	0.3
R/W	Rojo/Blanco	Sensor velocidad llanta trasera (suministro)	11.47
B/Y	Negro/Amarillo	Tierra ECU	12.37
Gr/G	Gris/Verde	Switch ignition	12.11
W/R	Blanco/Rojo	Motor ABS	11.47

Una vez recopilados estos datos, el siguiente paso consiste en obtener una señal similar de los sensores que se utilizarán en el proyecto. Esto es importante para garantizar el buen funcionamiento del banco de pruebas lo cual permite una aproximación más realista a la

interacción de la señal con el procesador del módulo ABS. Para la adquisición de las señales, se utiliza un osciloscopio conectado a dichos sensores directamente en la motocicleta. De esta manera, se registran formas de onda similares a las que se muestran en la Figura 5. A continuación, se presentan las señales obtenidas con un sensor en buen estado y otro defectuoso.

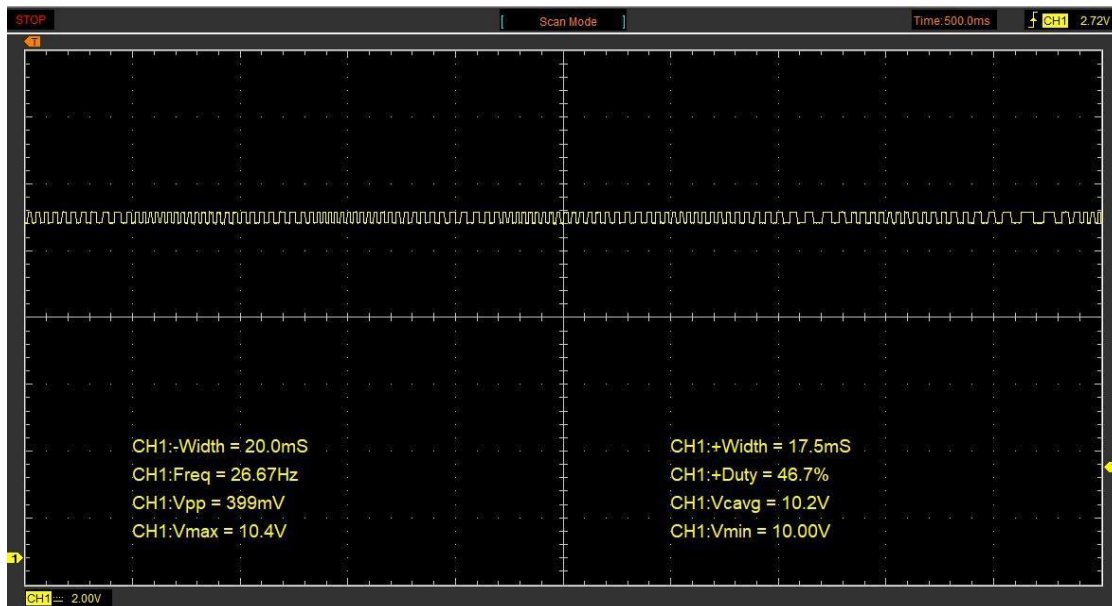


Fig. 10. Sensor seleccionado para el desarrollo del proyecto.

La señal mostrada en la imagen es estable, periódica y simétrica, con un ciclo de trabajo cercano al 50 % y variaciones mínimas de voltaje, lo que indica que el sensor está funcionando correctamente. El hecho de que se mantenga sobre un nivel base de aproximadamente 10 V es consistente con sensores activos modernos que operan con lógica de niveles altos. Por lo tanto, se concluye que este sensor presenta un comportamiento equivalente al sensor original, siendo apto para su uso en pruebas dentro de los parámetros del proyecto; La comparación entre ambas señales permite concluir que el sensor funcional presenta una salida periódica, estable y útil. En contraste, el sensor defectuoso no genera la señal esperada, impidiendo su uso en aplicaciones prácticas. Por lo tanto, solo los sensores que generan señales similares a la mostrada en la Figura 5 serán considerados aptos para el desarrollo del sistema.

La comparación entre ambas señales evidencia que el sensor funcional, aunque presenta una amplitud reducida ($V_{pp} \approx 387 \text{ mV}$), genera una salida periódica con frecuencia de $30,77 \text{ Hz}$ y ciclo de trabajo del $46,2 \%$, lo que indica detección de los dientes del reluctor y permite su uso en el sistema. En contraste, el sensor defectuoso mantiene una salida prácticamente constante ($V_{pp} \approx 78,1 \text{ mV}$, frecuencia de $0,326 \text{ Hz}$ y ciclo de trabajo del $98,6 \%$), sin transiciones claras ni forma de onda definida, lo que impide la correcta lectura de velocidad. Por lo tanto, este sensor presenta un malfuncionamiento atribuible a una falla interna y solo aquellos sensores que generen señales equivalentes a la obtenida con el sensor original serán considerados aptos para el desarrollo del sistema.

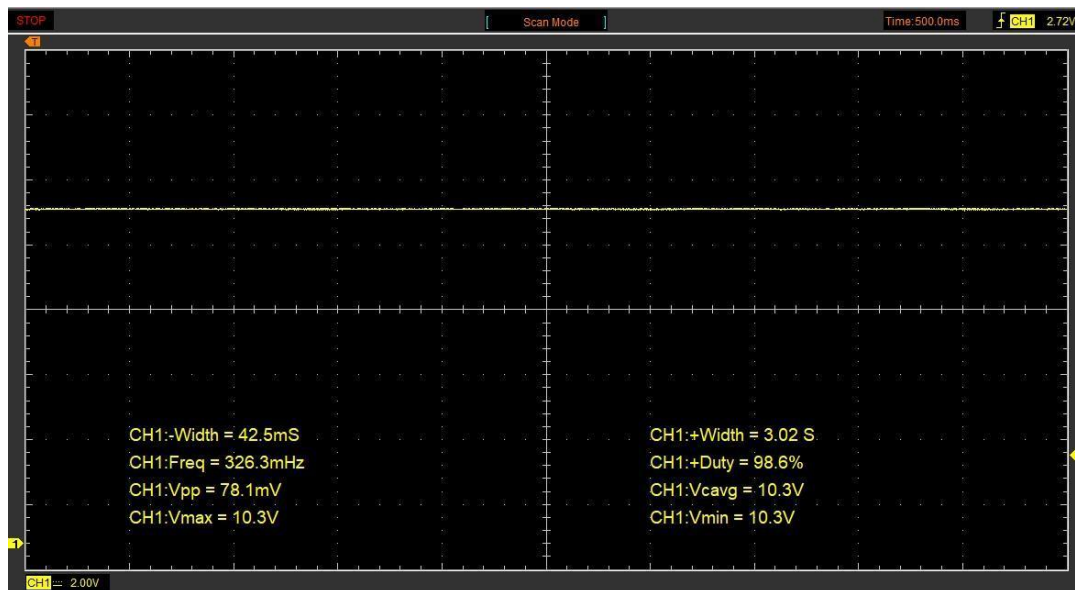


Fig. 11. Comportamiento de un sensor de velocidad defectuoso.

Debido a la restricción de espacio físico para el desarrollo del proyecto, se decidió emular la llanta en lugar de utilizar una rueda real. Para ello, se diseñó y fabricó un disco mediante tecnología de impresión 3D, sobre el cual se montó una rueda dentada. Esta se fijó firmemente al disco utilizando tornillos M8, lo que garantiza una sujeción segura y estable durante el funcionamiento. Esta solución no solo optimiza significativamente el espacio disponible, sino que también permite simular de manera efectiva el giro y el comportamiento cinemático de la llanta dentro del sistema, sin comprometer la funcionalidad necesaria para las pruebas y el desarrollo del prototipo.

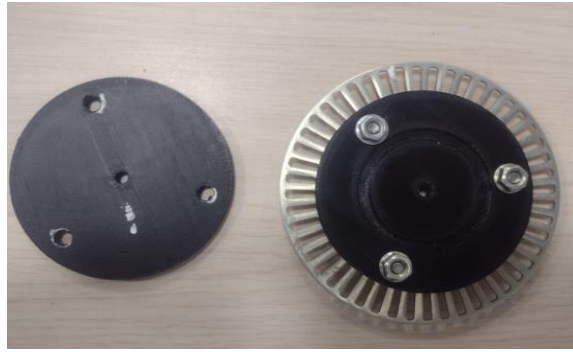


Fig. 12. Discos de fijación para las ruedas fónicas.

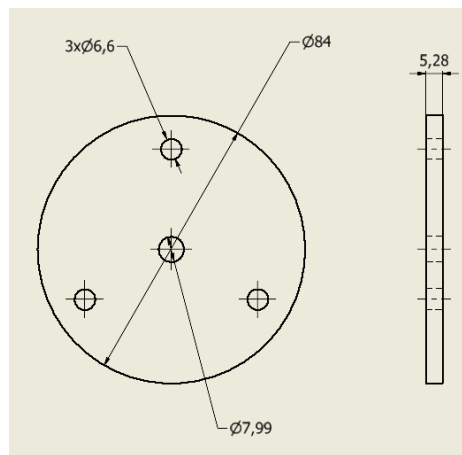


Fig. 13. Dimensiones del disco.

Teniendo como base el sistema de cableado original del vehículo y la información técnica contenida en el manual de servicio de la motocicleta [5], se realiza la réplica del circuito responsable del funcionamiento del módulo específico en estudio en el tablero de pruebas. Esta instalación permite recrear las condiciones eléctricas necesarias para su operación sin comprometer la integridad eléctrica ni física de la motocicleta. Esta configuración permite un análisis preliminar del comportamiento eléctrico del sistema, facilitando la identificación de señales, puntos de conexión y posibles respuestas del módulo ante diferentes condiciones de carga. De este modo, se logra una primera aproximación al resultado buscado, permitiendo su posterior comparación con el circuito real del vehículo.

Utilizando el mismo código de colores del sistema eléctrico original de la motocicleta, así como los mismos instrumentos de medición empleados en etapas anteriores, se procede a evaluar el

comportamiento del módulo bajo condiciones de carga equivalentes a las previamente utilizadas. Esta continuidad en los parámetros de prueba garantiza la reproducibilidad de los resultados y permite una comparación precisa del desempeño del módulo, tal como se evidencia en la siguiente sección.

TABLA II
DATOS DEL MODULO ABS EN EL TABLERO

Cable	Descripción	Función	Voltaje (V)
W/L	Blanco/azul	Válvula solenoide	12.44
Y/L	Amarillo/Azul	Can low	2.46
G/L	Verde/Azul	Can high	2.38
W/R	Blanco/Rojo	Sensor velocidad llanta delantera(suministro)	12.41
L/Pi	Azul/Rosa	Sensor velocidad llanta delantera	0.27
L/O	Azul/Naranja	Sensor velocidad llanta trasera	0.27
R/W	Rojo/Blanco	Sensor velocidad llanta trasera (suministro)	11.51
B/Y	Negro/Amarillo	Tierra ECU	-
Gr/G	Gris/Verde	Switch ignition	12.41
W/R	Blanco/Rojo	Motor ABS	11.52

Con base en los datos obtenidos directamente del sistema eléctrico de la motocicleta (Tabla I) y los registrados en el circuito aislado (Tabla II), se puede observar una notable correspondencia en los valores de voltaje medidos en cada conductor evaluado. El procedimiento se realizó utilizando el mismo código de colores del cableado original, los mismos instrumentos de medición (multímetro digital y osciloscopio de dos canales), y replicando las condiciones de carga presentes en el sistema real. Esta metodología asegura la homogeneidad de los datos y permite evaluar con mayor confiabilidad el comportamiento del módulo electrónico aislado.

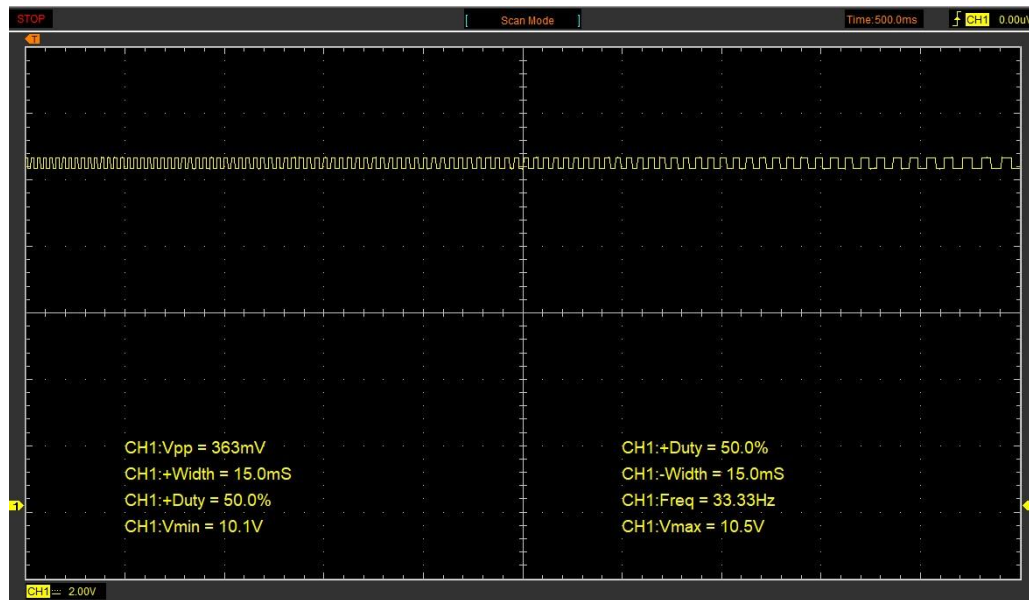


Fig. 14. Oscilograma del circuito en el tablero.

Teniendo como base el sistema de cableado original del vehículo y la información técnica contenida en el manual de servicio de la motocicleta [5], se realiza una réplica del circuito responsable del funcionamiento del módulo específico en estudio. Esta réplica se implementa de forma aislada, con el fin de recrear las condiciones eléctricas necesarias para su operación sin comprometer la integridad eléctrica ni física de la motocicleta. Esta configuración permite un análisis preliminar del comportamiento eléctrico del sistema, facilitando la identificación de señales, puntos de conexión y posibles respuestas del módulo ante diferentes condiciones de carga. De este modo, se logra una primera aproximación al resultado buscado, permitiendo su posterior comparación con el circuito real del vehículo.

Durante una segunda prueba del sistema en el tablero, cuyo resultado se muestra en la Figura 13, se realizó una nueva captura de la señal con el objetivo de evaluar posibles mejoras en la fidelidad de la réplica. En este caso, la señal presenta una frecuencia de 33.33 Hz, un ciclo de trabajo del 50 %, y un voltaje pico a pico de 363 mV, con una tensión máxima de 10.5 V y mínima de 10.1 V. Estas características reflejan una mayor estabilidad y simetría en la forma de onda respecto a la observada en la Figura 5. alineándose aún más con el comportamiento del sensor original de la motocicleta. La regularidad del ancho de pulso (15.0 ms) y la consistencia en los niveles de voltaje indican que el sistema replicado ha sido calibrado con mayor precisión, consolidando su utilidad

como entorno de prueba confiable y representativo del circuito real. Usando como referencia el manual de taller [5], se seleccionaron e instalaron los elementos necesarios para el circuito del módulo, entre ellos el switch de ignición, el tablero primario y el tablero secundario. Estos componentes se encuentran interconectados a través de la red de comunicación del vehículo (CAN High y CAN Low), la cual enlaza los tableros con la computadora central (ECU) de la motocicleta. A su vez, esta ECU se comunica con la computadora propia del módulo, encargada de informar al usuario final el estado de funcionamiento del sistema ABS.

Para dar veracidad al análisis del sistema, se calcularon los errores porcentuales usando la ecuación (1) a partir de los datos obtenidos mediante el osciloscopio, comparando la señal real medida en la motocicleta con la señal generada en el banco de pruebas. La exactitud del instrumento fue considerada de acuerdo con la especificación indicada en la ecuación (2). A partir de esta especificación y de la resolución inherente al proceso de medición, la incertidumbre asociada a cada parámetro se calculó mediante la ecuación (3). De este modo, cada resultado experimental fue expresado en la forma $X = X_{\text{medido}} \pm \Delta X$. Los resultados muestran un error del 25 % en frecuencia, asociado a la diferencia en velocidad de simulación, mientras que el voltaje pico a pico y el ciclo de trabajo presentan errores del 9 % y 7 %, respectivamente. Asimismo, los niveles de tensión máxima y mínima presentan variaciones inferiores a 0.1 V, lo que evidencia una alta exactitud funcional. En consecuencia, estos resultados confirman que la plataforma de simulación reproduce de manera adecuada el comportamiento del sensor de velocidad tipo efecto Hall.

$$\%Error = \left| \frac{X_{BANCO} - X_{MOTO}}{X_{MOTO}} \right| \times 100\% \quad [1]$$

Donde:

X_{BANCO} : valor medido en el banco de pruebas.

X_{MOTO} : valor medido en la moto.

$$\pm(0.5\% + 3) \quad [2]$$

$$\Delta X = \pm(0.005 * X_{\text{medido}} + 3 * R) \quad [3]$$

ΔX : incertidumbre total del parámetro medido.

X_{medido} : valor medido con osciloscopio

R: resolución del instrumento.

TABLA III

COMPARACION ENTRE LAS SEÑALES REALES Y SIMULADAS

Parámetro	Resolución	Moto (Real)	Banco (simulado)	Error %
Frecuencia (Hz)	0.01 Hz	26.67 ± 0.16	33.33 ± 0.17	24.97
Voltaje pico a pico (mV)	1 mV	399 ± 5	363 ± 5	9.07
Ciclo de trabajo (%)	0.1%	$46,7 \pm 0,53$	$50.0 \pm 0,54$	7.07
Voltaje máximo (V)	0.01 V	10.4 ± 0.06	10.5 ± 0.07	0.96
Voltaje mínimo (V)	0.01 V	10.0 ± 0.06	10.1 ± 0.07	1



Fig. 15. Tablero Primario y secundario instalados en el tablero.

La ECU de la motocicleta recoge la información de diversos sensores y, con base en estos datos, asegura que la cantidad de combustible inyectada en el colector de admisión sea la adecuada y en el momento preciso, de acuerdo con las diferentes condiciones de carga y velocidad del motor. No obstante, los sensores de velocidad de rueda están conectados directamente al módulo ABS, el cual procesa dichas señales para detectar posibles bloqueos y regular la presión de frenado. Posteriormente, a través de la red CAN, el módulo ABS se comunica con la ECU de la motocicleta,

permitiendo que esta supervise el estado del sistema, active la señal de alerta en el tablero en caso de fallas y mantenga informado al usuario sobre el correcto funcionamiento del ABS.



Fig. 16. ECU de la motocicleta.

la señal de alerta del sistema ABS se activa cuando la ECU de la motocicleta detecta, a través de las señales enviadas por los componentes conectados al módulo, la presencia de un mal funcionamiento. Sin embargo, es importante resaltar que esta señal también se enciende de manera preventiva al poner en marcha la motocicleta. En condiciones normales, dicha alerta se desactiva automáticamente una vez que la velocidad supera los 3 km/h, lo que confirma el correcto funcionamiento del sistema.



Fig. 17. Señal de alerta del ABS.

En la siguiente tabla se presentan las principales señales asociadas a los tableros de la motocicleta, las cuales se comunican a través de la ECU, el módulo ABS y otros componentes electrónicos. Esta interacción permite evidenciar tanto las condiciones normales de funcionamiento como la presencia de fallas o alertas específicas dentro del sistema.

TABLA IV
DATOS VELOCIMETRO PRINCIPAL DE LA MOTOCICLETA

Cable	Descripción	Función	Voltaje (V)
W	Blanco	Alimentación	11.90
O/Gr	Amarillo/Café	Alimentación	11.54
G/L	Verde/Azul	Can high	2.78
Y/L	Amarillo/Azul	Can low	2.33
G/W	Verde/Blanco	Tierra	-

TABLA V
DATOS VELOCIMETRO SECUNDARIO DE LA MOTOCICLETA

Cable	Descripción	Función	Voltaje (V)
W	Blanco	Alimentación	11.88
O/Gr	Amarillo/Café	Alimentación	11.72
G/L	Verde/Azul	Can high	2.75
Y/L	Amarillo/Azul	Can low	2.30
G/W	Verde/Blanco	Tierra	-

Las señales obtenidas de los tableros primario y secundario corresponden principalmente a líneas de alimentación, tierra y comunicación, cada una con un voltaje característico que asegura su correcto funcionamiento. Las líneas de alimentación (cables blanco y amarillo/café) mantienen un voltaje cercano a 12 V, garantizando la energía necesaria para la operación de los tableros. Por su parte, la línea de tierra (verde/blanco) establece la referencia eléctrica del sistema. Finalmente, se encuentran las señales de comunicación digital CAN High (verde/azul) y CAN Low (amarillo/azul), que presentan valores de voltaje dentro de los rangos esperados para la transmisión de datos entre los diferentes módulos de la motocicleta.

Es importante destacar que las señales CAN High y CAN Low presentan valores muy similares tanto en el tablero primario como en el secundario y en el propio módulo ABS. Esta correspondencia asegura la correcta intercomunicación entre los distintos elementos electrónicos, permitiendo que la información fluya de manera continua y confiable a través de la red CAN. Gracias a esta red, la ECU puede recibir y enviar datos hacia los tableros y al módulo ABS, garantizando que las señales de estado, alertas o fallas se transmitan de forma sincronizada en todo el sistema de la motocicleta.

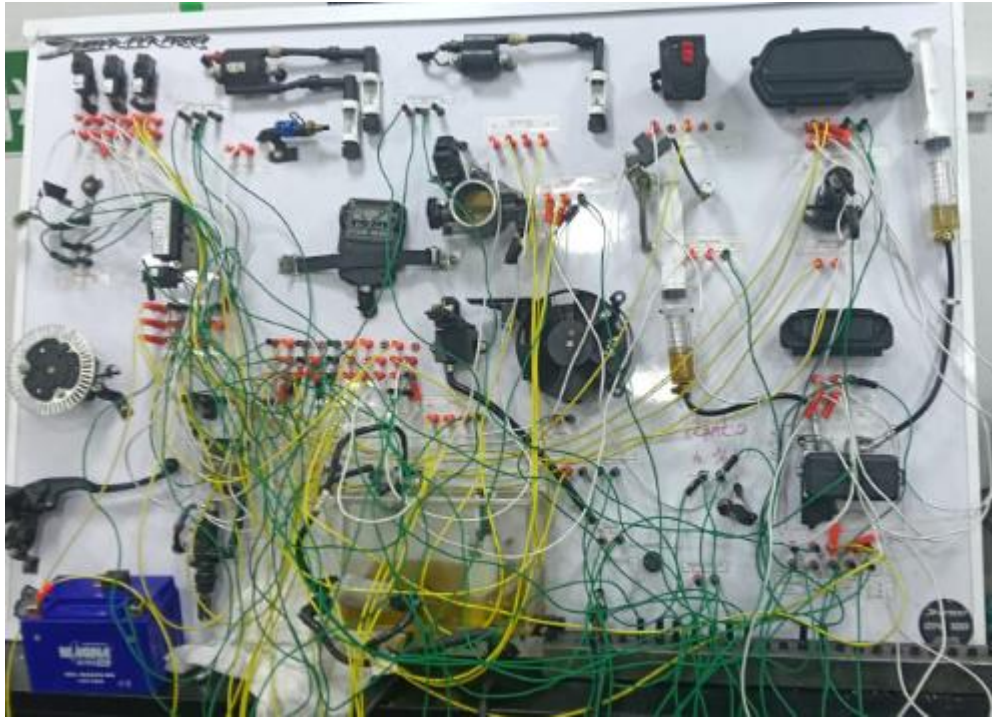


Fig. 18. Tablero completamente conectado.

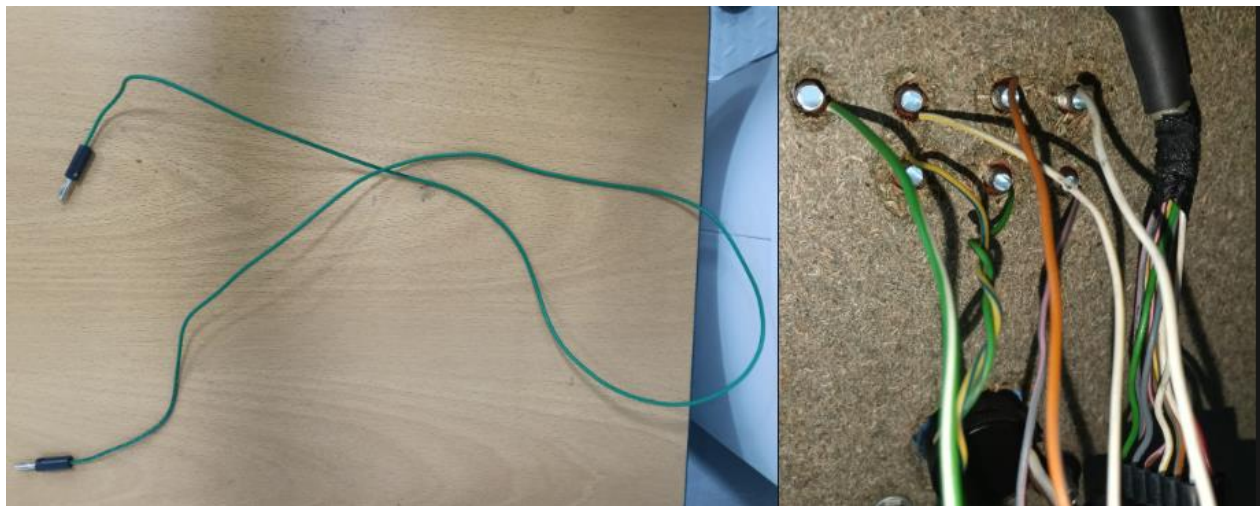


Fig. 19. Conector banana-banana y conexión posterior en el tablero.

En este proyecto, los cables de conexión tipo banana (figura 18) cumple un papel importante ya que hacen posible enlazar de forma práctica todos los módulos del banco didáctico: la ECU, el

tablero, el módulo ABS, los sensores y los actuadores. Gracias a ellos, se puede llevar tanto la alimentación eléctrica como las señales de control entre los diferentes componentes, permitiendo que trabajen juntos como lo harían en la motocicleta real. Esta correcta interconexión facilita que el sistema funcione de manera integrada, lo que a su vez permite observar su comportamiento, detectar fallas y comprobar que todos los elementos electrónicos interactúan de forma coordinada, tal como se requiere para las capacitaciones a técnicos y pruebas de otros elementos evitando desmontajes que serían tediosos de realizar en una motocicleta.

TABLA VI
DATOS VELOCIMETRO PRINCIPAL DEL TABLERO

Cable	Descripción	Función	Voltaje (V)
W	Blanco	Alimentación	12.24
O/Gr	Amarillo/Café	Alimentación	12.17
G/L	Verde/Azul	Can high	2.35
Y/L	Amarillo/Azul	Can low	2.40
G/W	Verde/Blanco	Tierra	-

TABLA VII
DATOS VELOCIMETRO SECUNDARIO DEL TABLERO

Cable	Descripción	Función	Voltaje (V)
W	Blanco	Alimentación	12.21
O/Gr	Amarillo/Café	Alimentación	12.13
G/L	Verde/Azul	Can high	2.83
Y/L	Amarillo/Azul	Can low	2.38
G/W	Verde/Blanco	Tierra	-

Al revisar y comparar las señales del velocímetro primario y secundario del tablero didáctico con las de la motocicleta real, se puede ver que los valores son muy similares, lo que demuestra que el sistema de simulación reproduce con bastante fidelidad el comportamiento original. En el caso de la alimentación, los voltajes en el tablero rondan los 12.2 V, mientras que en la moto real están un poco más bajos, cerca de 11.9 V. Esta pequeña diferencia es normal y se debe a la descarga de la batería ya que al no haber un circuito de recarga se produce la ya mencionada descarga de la batería, por otro lado, en la comunicación de datos se nota que en el tablero los valores de CAN High y CAN Low están muy próximos entre sí (alrededor de 2.3–2.4 V), mientras que en la motocicleta

se observa una separación más clara, con CAN High cercano a 2.7 V y CAN Low en 2.3 V, lo que refleja un funcionamiento más propio de las condiciones reales. En ambos casos, la conexión a tierra se mantiene estable, lo que garantiza la correcta referencia del sistema. En conclusión, esta comparación permite afirmar que el banco didáctico logra imitar de forma práctica y confiable el comportamiento eléctrico y de comunicación de la motocicleta, convirtiéndose en una herramienta útil para aprender, diagnosticar y entender mejor el funcionamiento de estos sistemas.

En el proyecto, la correcta interconexión de los componentes del banco didáctico mediante los cables de conexión tipo banana es fundamental, ya que permite enlazar de forma práctica la ECU, el módulo ABS, el tablero y los diferentes sensores y actuadores, logrando que trabajen de manera conjunta y reproduzcan de manera aproximada el funcionamiento de la motocicleta real. Esta conexión ordenada y estable asegura que las señales eléctricas y de comunicación fluyan sin interrupciones entre los módulos, lo que no solo garantiza la operación integrada del sistema, sino que también permite utilizar herramientas de diagnóstico como el escáner automotriz.

Gracias a esta herramienta, es posible visualizar en tiempo real parámetros importantes, como la velocidad registrada por los sensores de rueda, y también acceder a los códigos de error almacenados en el módulo ABS que se transmiten a través de la ECU, lo que facilita identificarlos y borrarlos cuando sea necesario. Esta capacidad de diagnóstico es esencial en motocicletas modernas, ya que permite detectar fallas de manera rápida y precisa, evitando desmontajes complejos y reduciendo el tiempo de mantenimiento. Además, en el contexto del proyecto, el uso del escáner junto con la correcta interconexión de los componentes brinda una valiosa oportunidad para capacitar a técnicos y estudiantes, ya que les permite observar directamente cómo interactúan los módulos electrónicos, validar el funcionamiento de los sensores y comprender los procesos de diagnóstico de manera más ágil, práctica y segura.



Fig. 20. Lectura de códigos de error y parámetros en vivo del tablero.

Una vez finalizada la parte electrónica del proyecto, se procedió a implementar el sistema de frenos para completar el funcionamiento del banco didáctico. Para ello, se habilitó el paso del líquido de frenos a través de las mangueras, el cual circula por las cámaras del módulo ABS y se dirige hacia las jeringas transparentes instaladas en el panel (figura 20). Estas jeringas actúan como depósitos visibles que permiten monitorear el nivel y el desplazamiento del líquido, mostrando de manera clara cómo se comporta el sistema hidráulico en diferentes condiciones de frenado. Este montaje no solo facilita la observación directa del funcionamiento del sistema de frenos sin necesidad de componentes voluminosos de la motocicleta, sino que también resulta ideal para fines didácticos y de capacitación, al permitir comprender el efecto de la activación del freno y del módulo ABS sobre el flujo del líquido.



Fig. 21. Habilitación del líquido de frenos.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El proceso de caracterización de las señales de los sensores de velocidad permitió establecer que los sensores en óptimo estado generan una señal digital cuadrada, estable y simétrica, con niveles de voltaje cercanos a 10 V y un ciclo de trabajo próximo al 50%. Estos resultados confirmaron la funcionalidad de los sensores analizados y su idoneidad para su implementación en el banco didáctico. Por el contrario, los sensores defectuosos presentaron formas de onda inestables o ausentes, lo que los hace inviables para su uso.
2. La réplica del circuito eléctrico del sistema ABS en el tablero didáctico, realizada bajo los mismos parámetros de codificación de colores y condiciones de prueba del cableado original de la motocicleta, permitió recrear de manera fidedigna las condiciones operativas del módulo. Esto garantizó la comparabilidad entre los datos del sistema real y los obtenidos en el entorno controlado del banco.
3. La comparación de mediciones entre la motocicleta y el banco evidenció una notable similitud en los valores de voltaje de alimentación, tierra y comunicación CAN. Las diferencias mínimas observadas se atribuyeron a variaciones en el estado de la batería, sin afectar el desempeño del sistema, lo que valida la confiabilidad del banco como herramienta de diagnóstico y formación.
4. El diseño y fabricación del disco fónico mediante impresión 3D representó una solución eficaz para emular el comportamiento de la rueda en un espacio reducido, sin comprometer la funcionalidad del conjunto. Este desarrollo facilitó la simulación de las condiciones dinámicas necesarias para la adquisición de señales.
5. La interconexión de los componentes mediante cables tipo banana, junto con la integración del escáner automotriz, confirmó la capacidad del banco para visualizar parámetros en tiempo real, detectar fallos y eliminar códigos de error, lo que aporta un valor didáctico y técnico significativo al sistema desarrollado.

6. Finalmente, la implementación del circuito hidráulico con jeringas transparentes como depósitos visibles permitió observar de manera tangible la acción del líquido de frenos y del módulo ABS, facilitando la comprensión integral del proceso tanto a nivel electrónico como mecánico. De esta forma, el banco se consolida como una herramienta de enseñanza completa y representativa.
7. Resultaría conveniente incorporar un sistema de alimentación con regulación y simulación de carga de batería, que permita evitar caídas de voltaje en el banco y acercar aún más las pruebas a las condiciones reales de operación.
8. se propone continuar con la implementación de prácticas de diagnóstico mediante el escáner automotriz, incorporando la simulación de fallas controladas, para fortalecer el carácter formativo del banco y brindar a los estudiantes experiencias cercanas a los escenarios reales de mantenimiento.
9. Es necesario implementar el ajuste del simulador del sensor CKP (Crankshaft Position Sensor), para garantizar el correcto funcionamiento en la emulación de las condiciones de funcionamiento del tablero en general.

REFERENCIAS

- [1] Bajaj Auto Limited. *Service manual: Pulsar NS200 FI ABS*. Akurdi, Pune (India): 2022.
- [2] Álvarez, J. (2024). *Guía del proyecto: Tableros de las motocicletas Boxer CT 125 UG y Dominar 400 UG del 2024*. Medellín: Grupo UMA.
- [3] F. Domínguez Gros and J. Solé Casals, *Introducción a los sensores*. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4bQq0cD>
- [4] R. Bosch, *Automotive Handbook*, 8th ed. Cambridge, MA: Bentley Publishers, 2010. [En línea]. Disponible en: <http://bit.ly/3Hl7FaL>.
- [5] Bajaj Auto Limited, *Manual de servicio: Dominar 400 UG*. Akurdi, Pune (India): Bajaj Auto Limited; 2019.

