



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

“CARACTERIZACIÓN DEL MOTOR Y SISTEMA DE INYECCIÓN
DURANTE EL ARRANQUE EN FRÍO EN MOTOCICLETAS”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ

Línea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible

AUTOR:

Johan Andrés Males Cushcagua

DIRECTOR:

Ing. Zamir Andrés Mera Rosero PhD.

Ibarra – Ecuador 2025



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	1050269255	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	Males Cushcagua Johan Andrés	
DIRECCIÓN:	Quinchuqui-Otavalo		
EMAIL:	jamalesc1@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	N/A	TELF. MOVIL	0995131790

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Caracterización del motor y sistema de inyección durante el arranque en frío en motocicletas
AUTOR (ES):	Males Cushcagua Johan Andrés
FECHA:	2025/12/12
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
CARRERA/PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero automotriz
DIRECTOR:	Ing. Zamir Andrés Mera Rosero, PhD



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Males Cushcagua Johan Andrés, con cédula de identidad Nro. 1050269255, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 12 días del mes de diciembre de 2025

EL AUTOR:

.....

Nombre: Males Cushcagua Johan Andrés



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 12 días, del mes de diciembre de 2025

EL AUTOR:

.....

Nombre: Males Cushcagua Johan Andrés



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Ibarra, 12 de diciembre de 2025

Ing. Zamir Andrés Mera Rosero, PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f)

ING. ZAMIR ANDRES MERA ROSERO. PHD

C.C.: 1003184478



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular “Caracterización del motor y sistema de inyección durante el arranque en frío en motocicletas” elaborado por Males Cushcagua Johan Andrés, previo a la obtención del título de Ingeniero automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f):.....

ING. ZAMIR ANDRÉS MERA ROSERO, PHD

C.C.: 1003184478

(f):.....

ING. FERNANDO RENATO RAMÍREZ PAREDES. PHD

C.C.:1709992703



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



DEDICATORIA

A mis padres, José Males y María Cushcagua, mis hermanos Nancy, Martha, Bryan y David, por ser parte de mi historia y de la persona en la que me he convertido. Con cariño, les dedico este trabajo como muestra de mi infinito afecto.

A mis amigos y colegas, por su compañía y por ser cómplices en esta travesía. Su apoyo, motivación y las innumerables risas compartidas han hecho de este proceso más llevadero y memorable.

A quien alguna vez camino a mi lado, por ser refugio en los días en que todo parecía desbordarse. Quizá nunca llegaste a saber cuánto significó tu presencia en medio del caos, pero parte de este logro también te pertenece, porque fuiste luz en tiempo donde todo parecía oscuridad.

A Johan, por nunca rendirse.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



AGRADECIMIENTO

A mi familia, porque incluso en el silencio siempre sentí el eco de un hogar.
Este logro es también una forma de decir que todo valió la pena.

A mi tutor, Zamir Mera, por saber guiarme con mucha paciencia durante todo este trabajo de investigación.

A Martín, de Css Electronics, por resolver cada duda que tenía sobre los equipos de recolección de datos.

A todos los docentes que formaron parte de mi formación, en especial a los que realmente honran su vocación. Por demostrarme el tipo de profesional que quiero llegar a ser.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



RESUMEN

El arranque en frío en motocicletas introduce un comportamiento transitorio que afecta directamente la eficiencia energética, la estabilidad térmica y el funcionamiento del sistema de inyección, motivando la necesidad de caracterizar esta etapa para comprender sus implicaciones en el consumo y la combustión; el objetivo de este estudio fue caracterizar el motor y el sistema de inyección durante el arranque en frío de una motocicleta mediante tres ensayos experimentales en ralentí, aceleración libre y conducción en condiciones reales; se registraron variables críticas como temperatura, consumo instantáneo, RPM, voltaje de la sonda lambda y potencia específica del vehículo utilizando los equipos CANmod.input y ELM327, analizando cada ensayo en dos fases para describir la transición desde mezcla enriquecida hasta operación estable; los resultados muestran que el tiempo para alcanzar 70 °C varía según el régimen, con 531 s en ralentí, 325 s en aceleración libre y 590 s en ruta debido a la refrigeración dinámica, que el consumo depende del tipo de operación con valores más altos en frío y picos de hasta 0,6015 gal/h asociados a mayores VSP, que la mezcla se mantiene enriquecida en todos los ensayos con voltajes promedio superiores a 1100 mV y que la estabilización térmica posterior regula la temperatura entre 70 y 76 °C; se concluye que el arranque en frío no es uniforme, que la temperatura es un umbral más confiable que un tiempo fijo para determinar su finalización, que la etapa crítica de consumo y mezcla rica se concentra en los primeros minutos y que la metodología aplicada demuestra alta coherencia en las mediciones, constituyendo una base sólida para futuros estudios sobre eficiencia y calibración de sistemas de inyección.

Palabras clave: arranque en frío, inyección electrónica, consumo de combustible, caracterización del motor, VSP, motocicletas.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



ABSTRACT

Cold start conditions in motorcycles generate transient behaviors that alter energy efficiency, fuel consumption, and injection system performance, making their characterization essential to understanding the real operating behavior of the engine. The objective of this study was to characterize the engine and injection system of a motorcycle during cold start through tests performed at idle, free acceleration, and real-world driving. Temperature, fuel consumption, engine speed, lambda sensor voltage, and vehicle specific power (VSP) were recorded using a CANmod.input and an ELM327, and the evolution of each variable was analyzed across two operational phases. The results show that the time required to reach 70 °C depends on engine regime and external conditions, that fuel consumption during cold start is equal to or higher than normal operation depending on load and VSP, and that the ECU maintains an enriched air-fuel mixture throughout the initial phase as a strategy for thermal and combustion stabilization. Additionally, the findings confirm that temperature is a more reliable criterion than a fixed time threshold to determine the end of the cold-start period, and that thermal stability is subsequently maintained between 70 °C and 76 °C in all tests. Overall, the applied methodology demonstrated consistent measurements and enabled a clear description of the engine's dynamics during this critical stage, providing useful information for future studies on efficiency and injection system calibration.

Keywords: cold start, electronic injection, fuel consumption, engine characterization, VSP, motorcycles.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	7
AGRADECIMIENTO	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
CAPÍTULO I.....	20
1 INTRODUCCIÓN	20
1.1 Problema de investigación.....	20
1.2 Objetivos.....	21
1.2.1 Objetivo general	21
1.2.2 Objetivos específicos	22
1.3 Alcance	22
1.4 Justificación	23
CAPÍTULO II.....	24
2 MARCO TEÓRICO.....	24
2.1 Antecedentes.....	24
2.2 Impacto ambiental del transporte en motocicletas	25



2.2.1	Óxidos de Nitrógeno (NO _x)	26
2.2.2	Partículas en suspensión (PM).....	26
2.2.3	Hidrocarburos (HC).....	27
2.2.4	Monóxido de Carbono (CO).....	27
2.2.5	Dióxido de Carbono (CO ₂).....	27
2.3	PARÁMETROS RELACIONADOS A LAS EMISIONES DE MOTOCICLETAS.....	28
2.3.1	Tipo de Motor:.....	28
2.3.2	Tecnología del Motor	28
2.3.3	Calidad del Combustible:	29
2.3.4	Condiciones de Operación:.....	30
2.3.5	Sistemas de Control de Emisiones:	30
2.3.6	Estado del Vehículo:.....	30
2.3.7	Ciclos de Conducción.....	31
2.3.8	Condiciones Ambientales:.....	32
2.3.9	Tecnologías postratamiento	33
2.4	Arranque en frío.....	34
2.5	Termografía infrarroja	35



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



CAPÍTULO III	36
3 MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1 Determinación de variables de estudio	37
3.1.1 Parámetros establecidos para la campaña experimental.....	37
3.1.2 Variables de operación del motor	38
3.2 Materiales y equipos	38
3.2.1 Selección del vehículo	38
3.2.2 Selección del equipo de adquisición de datos	40
3.2.3 Registrador de datos: CANedge	42
3.2.4 CANmod.input: Convertidor Analógico/Digital/de Pulso a Bus CAN.....	44
3.2.5 CANmod.gps con sensor inercial 3D	47
3.2.6 Registrador de Datos ELM327	49
3.3 Instalación y configuración del equipo de adquisición de datos en la motocicleta.....	49
3.3.1 Configuración modulo ELM327	49
3.3.2 Configuración de CANedge + CANmod.gps + CANmod.input.....	51
3.3.3 Configuración de Módulo CANMod.gps con Sensor Inercial 3D	54
3.3.4 Configuración de Módulo CANmod.input.....	55



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



3.3.5	Conexión e integración de los equipos de recolección de datos.....	57
3.4	Obtención de la ruta.....	58
3.4.1	Zona urbana de la ciudad de Ibarra	59
3.4.2	Zona rural de la ciudad de Ibarra.....	59
3.4.3	Zona de autopista.....	60
3.5	Pruebas Iniciales	61
3.6	Campaña experimental	61
3.6.1	Descripción de ensayos	61
3.7	Procesamiento de datos	63
3.7.1	Descarga y decodificación de datos	64
3.7.2	Selección, Limpieza y Sincronización de datos	66
3.7.3	Calculo potencia específica del vehículo (VSP).....	71
CAPITULO IV		73
4	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	73
4.1	Ensayo en ralentí	73
4.1.1	Temperatura - Ensayo en ralentí.....	76
4.1.2	RPM y consumo de combustible – Ensayo en ralentí.....	77
4.1.3	Sensor de oxígeno – Ensayo en ralentí.....	78



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



4.2	Ensayo de aceleración libre	78
4.2.1	Temperatura del motor - Ensayo en aceleración libre.....	81
4.2.2	Sensor oxigeno – Ensayo en aceleración libre	81
4.2.3	RPM y Consumo de combustible – Ensayo en aceleración libre	82
4.3	Ensayo en condiciones reales	82
4.3.1	Temperatura-Ensayo en condiciones reales	85
4.3.2	Sensor de oxígeno-Ensayo en condiciones reales	85
4.3.3	RPM vs Consumo combustible-Ensayo en condiciones reales.....	86
4.4	Consumo en función de la potencia específica del vehículo (VSP).....	86
4.5	Discusión de resultados	90
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
5.1	Conclusiones.....	93
5.2	Recomendaciones	96
6	BIBLIOGRAFIA.....	98
	ANEXOS.....	102



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de ensayo	37
Tabla 2. Especificaciones técnicas Benelli Tnt 25	39
Tabla 3. Equipos utilizados y su función.....	41
Tabla 4. Características técnicas de CANedge	43
Tabla 5. Descripción de pines de CANedge	44
Tabla 6. Características técnicas de CANmod.input	45
Tabla 7. Descripción de pines de CANmod.input	46
Tabla 8. Características técnicas CANmod.gps.....	47
Tabla 9. Descripción de pines CANmod.gps	48
Tabla 10. Distribución y conexión de pines modulo ELM327-OBDII moto	50
Tabla 11. Datos de operación del motor registrados en Torque Pro	51
Tabla 12. Coeficientes motocicleta.....	72
Tabla 13. Resultados Ensayo en Ralentí	76
Tabla 14. Resultados Ensayo en aceleración libre.....	80
Tabla 15. Resultados ensayo en condiciones reales	84
Tabla 16. Consumo instantáneo en función de VSP	89



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología para el desarrollo del trabajo de investigación	36
Figura 2. Vehículo seleccionado para la campaña experimental	39
Figura 3. Registrador de datos CANedge.....	42
Figura 4. Disposición de pines de CANedge.....	44
Figura 5. CANmod.input.....	45
Figura 6. Disposición de pines de CANmod.input.....	46
Figura 7. CANmod.gps: GPS-CAN con sensor inercial 3D	47
Figura 8. Disposición de pines CANmod.gps	48
Figura 9. Registrador de datos ELM327	49
Figura 10. Interfaz Torque Pro	50
Figura 12. Interfaz de CANedge config editor para CANedge	51
Figura 13. Herramienta de búsqueda OBD2 PID.....	53
Figura 14. Configuración de solicitudes PIDs.....	54
Figura 15. Interfaz de CANedge config editor para CANMod.gps.....	54
Figura 16 . Interfaz de CANedge config editor para CANMod.input	56
Figura 17. Conexión física entre CANedge y sus módulos	57
Figura 18. Conexión sensores a CANmod.input.....	57
Figura 19. Matriz origen-destino UMAP	59
Figura 20. Mapa ruta de conducción	60
Figura 21. Etapas del procesamiento de datos.....	64



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Figura 22. Editor de archivos DBC: Editor for CAN Bus Database Files.....	65
Figura 23. Software Asammdf	66
Figura 24. Interfaz gráfica R studio.....	66
Figura 25. Código de Selección, Limpieza y Sincronización de datos en R.....	67
Figura 26. Variación de temperatura del refrigerante del motor durante el arranque en frío.	69
Figura 27. Variación temperatura-Ensayo en Ralentí	74
Figura 28. Variación de la sonda lambda- Ensayo Ralentí	74
Figura 29. Variación RPM vs Consumo Combustible- Ensayo Ralentí	75
Figura 30. Temperatura °C vs Temperatura mV	75
Figura 31. Variación temperatura-Ensayo aceleración libre	78
Figura 32. Variación sensor lambda-Ensayo aceleración libre	79
Figura 33. Variación RPM vs Consumo combustible-Ensayo aceleración libre	80
Figura 34. Variación Temperatura-Ensayo en condiciones reales.	82
Figura 35. Variación sensor lambda-Ensayo en condiciones reales.....	83
Figura 36. Variación RPM vs Consumo combustible-Ensayo en condiciones reales...	84
Figura 37. Potencia específica del vehículo	86
Figura 38. Consumo en función del VSP	89
Figura 39. Mapa térmico del bloque motor durante el arranque en frío.....	103
Figura 40. Mapa térmico del bloque motor posterior al arranque en frío	104
Figura 41. Ubicación e instalación de módulos en la motocicleta	105



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Figura 42. Realización de ensayo en ralenti.....	106
Figura 43. Realización de ensayo en aceleración libre.....	106
Figura 44. Realización de ensayo en condiciones reales.....	107
Figura 45. Archivo MF4 sin decodificar ensayo en ralenti.....	108



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de investigación.

El arranque en frío en un motor presenta un desafío significativo para la eficiencia de este. Durante este proceso, el motor y sus correspondientes sistemas (sistema de inyección, sistema de lubricación) enfrentan condiciones muy diferentes a las que se experimentan una vez que el motor ha alcanzado su temperatura de funcionamiento óptima [1].

El arranque en frío en los motores de combustión ha sido uno de los puntos críticos en cuanto a las pérdidas de energía. La eficiencia térmica del motor de combustión interna es significativamente menor en el arranque en frío que cuando el vehículo alcanza temperaturas de trabajo óptimo debido a que, precisamente, a las temperaturas del lubricante u otros componentes, lo que llega a afectar de manera directa al rendimiento del motor además de otro punto importante, las emisiones del escape [2].

Se estima que las emisiones de los motores de combustión interna son 10 veces mayores durante el arranque en frío comparado con las emisiones durante el punto normal de operación del motor, además de que se han encontrado que las emisiones de hidrocarburos pueden llegar a ser hasta 1500% más altas en condiciones de “Cold Start” que con el motor caliente.[3] [4].



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Las emisiones durante el arranque en frío han generado efectos adversos en el medio ambiente. Cuando un motor arranca en frío, funciona de manera menos eficiente y emite niveles más altos de contaminantes como óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (HC) y monóxido de carbono (CO). Estos contaminantes son particularmente problemáticos porque los convertidores catalíticos y otras tecnologías de control de emisiones son menos efectivas a temperaturas más bajas, lo que conduce a una combustión incompleta y una mayor producción de contaminantes [4]. El impacto de la contaminación durante el arranque en frío se agrava en lugares con climas demasiado bajos, y por ende, sus efectos negativos en cuanto al medio ambiente y la salud es notable, especialmente en áreas donde se concentra una alta densidad de tráfico.

El sistema de inyección es otro de los puntos clave que caracteriza al motor durante el arranque en frío, esto debido a que la estrategia de inyección, en lo que se refiere a la presión de inyección y la pulverización del combustible en el cilindro, cambia drásticamente durante el arranque en frío comparado con las condiciones convencionales de funcionamiento.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Caracterizar el motor y sistema de inyección durante el arranque en frío en motocicletas, identificando los factores que influyen en su eficiencia y rendimiento.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



1.2.2 Objetivos específicos

- Seleccionar los parámetros de medición del tren de potencia durante el arranque en frío.
- Diseñar las condiciones de ensayo de arranque en frío.
- Realizar la campaña experimental de medición con el vehículo seleccionado y las condiciones de ensayo establecidas.
- Determinar las condiciones de operación del tren de potencia durante y después del arranque en frío.

1.3 Alcance

El presente trabajo de investigación consiste en determinar y analizar los parámetros del arranque en frío del motor y sistema de inyección de una motocicleta con la ayuda de datos reales de funcionamiento que intervienen en el arranque en frío en una motocicleta, condición en la que se puede considerar tras haberse mantenido apagado y a temperatura ambiente por al menos 6 horas para llegar a su enfriamiento total.

Para el desarrollo del presente proyecto se prevé inicialmente recabar información del comportamiento del motor con ayuda de un data logger y un módulo CAN bus.

Se plantea la ejecución del proyecto en una motocicleta representativa del parque automotor del Ecuador, equipada con un sistema de inyección y motor de 4 tiempos con el fin de garantizar la aplicabilidad de los resultados. Se prevé la medición y análisis de parámetros en condiciones reales de operación, considerando también diferentes modos de funcionamiento como ralentí y aceleración. De esta forma, se busca obtener



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



información confiable y transferible que permita comprender mejor el comportamiento del motor en arranque en frío y sus implicaciones en consumo de combustible y eficiencia del sistema.

1.4 Justificación

El sector del transporte es uno de los mayores contribuyentes a las emisiones de gases contaminantes. Dentro de nuestro territorio, las motocicletas representan un medio de transporte ampliamente utilizado debido a su bajo costo, eficiencia y practicidad en cuanto a su uso en entornos tanto rurales como urbanos. Sin embargo, las motocicletas al contar con un motor de combustión interna enfrentan desafíos significativos durante el arranque en frío, lo que puede afectar tanto el rendimiento del motor como las emisiones de contaminantes. La justificación de esta investigación radica en la necesidad de comprender los principales factores que influyen en el arranque en frío de los motores de combustión interna de una motocicleta, centrándose específicamente en la caracterización del motor y del sistema de inyección de combustible. Mediante un estudio que combina los análisis teóricos y experimentales, se pretende identificar los factores clave que afectan el rendimiento y la eficiencia durante esta fase crítica de funcionamiento del motor. Debido a la cantidad limitada de estudios de este tipo enfocados en motocicletas dentro de nuestro territorio, se pretende que los resultados de este estudio contribuyan con datos reales que puedan ayudar al desarrollo de estrategias más efectivas para mejorar el arranque en frío en futuros proyectos.



CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Uno de los principales inconvenientes en motores de combustión interna es su funcionamiento en temperaturas no óptimas, es decir en temperaturas bajas. Cuando el motor trabaja en estas condiciones, se ve afectado su rendimiento y su calidad de combustión. Según estudios realizados se demostró que un bloque de motor frío puede causar una combustión deficiente o incompleta, y puede llegar a afectar de manera muy significativa las emisiones. Además, el sistema de lubricación, debido a las temperaturas bajas no trabaja eficientemente y por ende las pérdidas por fricción aumentan y se refleja una disminución de la eficiencia térmica [5]

En los últimos años, en el Ecuador se ha registrado un crecimiento muy considerable el parque automotor. En este contexto, el mercado de las motos a combustión se ha impulsado de sobremanera. Según cifras de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), tan solo en julio del año 2023, la demanda de motocicletas en el mercado ecuatoriano aumentó en un 9 % en comparación con el mismo periodo del año 2022, con 16.589 unidades vendidas [6]. El incremento de vehículos de combustión en el parque automotor del Ecuador ha traído consigo un aumento considerable con respecto a las emisiones de CO₂. En los últimos años se ha tratado de regular este tipo de emisiones mediante normativas y regulaciones para vehículos como motores a combustión [7].



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



El control de emisiones ha ido en aumento debido al notable efecto que estos tienen en el medio ambiente. El avance de la tecnología ha permitido un gran avance con respecto a este tema, como principal ejemplo, el hecho de que se pudo pasar de un sistema de carburación a un sistema de inyección electrónica, avance que ayudó a una disminución notable de emisiones. El tipo de combustible es uno de los principales componentes que determina las emisiones que genera un motor. En el Ecuador se trabaja con 3 tipos de combustibles (Extra, Super y Eco País), de los cuales, según estudios, la gasolina Super y Eco País son la que se comportan de manera más favorable en cuanto a las emisiones de gases contaminantes como HC, CO y NO_x [8].

Según estudios realizados, más del 40% de compuestos orgánicos volátiles encontrados en el medio ambiente en zonas urbanas son emisiones provenientes de vehículos a combustión. Según este estudio, se demuestra que los vehículos a combustión presentan diferentes tasas de emisiones dependiendo del ciclo de manejo en el que este se encuentre, específicamente se demuestran altas tasas en condiciones de ralentí, transitorias o arranque (en frío y caliente) [9].

2.2 Impacto ambiental del transporte en motocicletas

En los países de ingresos bajos y medios, las motocicletas son el principal medio de transporte, pero su dependencia de combustibles fósiles agrava el cambio climático y la salud pública urbana [10]. Las emisiones totales de una ciudad están significativamente influenciadas por la cantidad de coches en circulación. Sin embargo, las emisiones reales



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



de los vehículos de dos ruedas han recibido muy poca atención con respecto a las emisiones de vehículos de cuatro ruedas [11].

Las motocicletas, al igual que otros vehículos de combustión interna, son fuentes móviles de gases contaminantes. En contraste a los automóviles tradicionales, que pueden tener motores de gasolina y diésel, las motocicletas utilizan únicamente motores de gasolina por razones técnicas. Estos motores pueden ser de dos o cuatro tiempos, y debido al menor impacto ambiental, los motores de cuatro tiempos son los más comunes [12].

Los motores de combustión de las motocicletas emiten diversos contaminantes tóxicos y gases de efecto invernadero al aire. También se consideran perjudiciales las emisiones de evaporación y del sistema de alimentación [12].

2.2.1 Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Se generan a altas temperaturas y presiones. Además de causar problemas de salud, especialmente respiratorios, son precursores de la lluvia ácida, contribuyen al calentamiento global.

2.2.2 Partículas en suspensión (PM)

Surgen durante la combustión de la gasolina y están compuestas de hollín, hidrocarburos y compuestos de azufre. Su tamaño varía desde micrómetros hasta nanómetros. Estas partículas tienen efectos negativos en el ambiente ya que influyen en la temperatura atmosférica. Son el contaminante más importante desde el punto de vista sanitario debido a sus efectos sobre la salud de la población.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



2.2.3 Hidrocarburos (HC)

Se generan por una combustión incompleta. Los más relevantes son los compuestos orgánicos volátiles (COVs) y otros como los hidrocarburos aromáticos y policíclicos. Reaccionan con la luz solar para producir ozono a nivel del suelo y fomentan la niebla fotoquímica.

2.2.4 Monóxido de Carbono (CO)

Similar a los hidrocarburos, su emisión está relacionada con una combustión incompleta. Contribuye al calentamiento global al ser un precursor del CO₂ y del ozono.

2.2.5 Dióxido de Carbono (CO₂)

Es el principal gas de efecto invernadero que causa el calentamiento global. A mayor concentración atmosférica de este gas, mayor es la cantidad de energía solar que queda atrapada en la atmósfera en forma de calor [12].

Se estima que las mayores emisiones de CO producidas en zonas urbanas provienen de las motocicletas, mientras que las emisiones más grandes de HC son producidas por ciclomotores [13] Aunque se han hecho esfuerzos por reducir estas emisiones mediante un postratamiento, esto ha llegado a generar otros contaminantes no regulados, como el dióxido de nitrógeno (formado en algunos catalizadores de oxidación diésel) o el amoníaco (formado durante la reducción de óxidos de nitrógeno en catalizadores de tres vías y emitido como agente reductor sin reaccionar por catalizadores de reducción selectiva) [14].



2.3 PARÁMETROS RELACIONADOS A LAS EMISIONES DE MOTOCICLETAS

Existen diferentes fuentes y condiciones que influyen en la cantidad y tipo de contaminantes emitidos por esta clase de vehículos. Estos factores pueden variar significativamente dependiendo de varios aspectos técnicos y operativos. Aquí se presentan algunos de los principales factores de emisiones en motocicletas:

2.3.1 Tipo de Motor:

Las motocicletas de dos tiempos generalmente tienen emisiones de HC considerablemente más altas y emisiones de NO_x bastante más bajas en comparación a las motocicletas de cuatro tiempos [15].

En cuanto a los niveles de emisiones para motocicletas de 4 tiempos reportados, varían en un rango más pequeño, al ser más eficientes [16].

2.3.2 Tecnología del Motor

2.3.2.1 Carburador

La combustión de mezcla rica que se produce por el uso de suministro de combustible por carburador da como resultado bajas tasas de NO_x y altas tasas de CO y HC [17].

2.3.2.2 Inyección Electrónica de Combustible

La actualización de los sistemas de suministro de combustible de las motocicletas a sistemas de inyección de combustible es una de las opciones más prometedoras para lograr la reducción de emisiones [17].



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



2.3.3 Calidad del Combustible:

2.3.3.1 Combustibles oxigenados

Las emisiones de CO₂ disminuyen moderadamente, y las emisiones de CO y HC se reducen con los combustibles oxigenados. Las emisiones de NO_x aumentaron con el contenido de oxígeno. Bajo condiciones de acelerador abierto, las emisiones de carbono disminuyeron significativamente, aunque aumentaron las emisiones de NO_x. En general, las mezclas de alcohol reducen las emisiones de CO y THC con una leve penalización en el ahorro de combustible [18].

2.3.3.2 Contenido de azufre en combustibles

El contenido de azufre en la gasolina y el diésel es un factor determinante en el desempeño de los sistemas de postratamiento de emisiones. Este elemento, además de generar directamente compuestos contaminantes como dióxido de azufre (SO₂) y sulfatos, reduce la eficiencia de catalizadores, filtros de partículas y otros dispositivos, al ocupar sus sitios activos e impedir reacciones químicas de conversión. Diversos estudios demuestran que la disminución del azufre en el combustible permite implementar tecnologías más avanzadas y eficaces: concentraciones cercanas a 150 ppm ya reducen las emisiones en vehículos existentes, mientras que niveles de aproximadamente 50 ppm facilitan el uso de filtros de partículas diésel y sistemas de reducción de óxidos de nitrógeno. No obstante, el mayor rendimiento se alcanza con combustibles de muy bajo contenido de azufre (≤ 10 ppm), los cuales habilitan catalizadores más eficientes y estrategias de control de



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



emisiones más exigentes, incrementando así la eficiencia energética y reduciendo el impacto ambiental de los motores [19].

2.3.4 Condiciones de Operación:

2.3.4.1 Arranque en frío

Se estima que las emisiones de los motores de combustión interna son 10 veces mayores durante el arranque en frío comparado con las emisiones durante el puto normal de operación del motor, además de que se han encontrado que las emisiones de hidrocarburos pueden llegar a ser hasta 1500% más altas en condiciones de arranque en frío [20].

2.3.4.2 Ralentí

Puede resultar en emisiones más altas de HC y CO debido a la combustión incompleta [21].

2.3.5 Sistemas de Control de Emisiones:

2.3.5.1 Catalizadores

El uso de convertidores catalíticos ofrece los medios para reducir las emisiones de gases contaminantes, que son de interés en zonas urbanas [17].

2.3.6 Estado del Vehículo:

Los vehículos más antiguos, que estén regulados bajo normativas más antigua en cuanto a emisiones son las que más gases contaminantes generan [17].



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Se ha observado que las emisiones de CO incrementan con el tamaño del motor, mientras que los factores de emisión de HC son menos afectados por el tamaño del motor en comparación con los niveles de CO; las emisiones de HC disminuyen a medida que aumenta el tamaño del motor [22].

2.3.7 Ciclos de Conducción

Las emisiones varían según el ciclo de conducción, con diferencias significativas entre los ciclos rurales y urbanos. En los ciclos rurales, se recorren distancias más largas a mayores velocidades, con menos tiempo de inactividad y más tiempo dedicado a la aceleración y desaceleración. Por otro lado, en los ciclos urbanos, al existir mayor tráfico, mayos intersecciones, tiende a consumir más combustible [15].

2.3.7.1 Ciclo WMTC

El ciclo WMTC es un procedimiento estandarizado desarrollado por la ONU (Reglamento Global GTR N° 2) para medir el consumo de combustible y las emisiones contaminantes de motocicletas en condiciones representativas de conducción real a nivel mundial. El ciclo WMTC combina fases de baja, media y alta velocidad que incluyen aceleraciones, desaceleraciones, frenadas y periodos de ralentí, simulando trayectos urbanos, suburbanos y de carretera. Gracias a esta estructura más completa y realista, permite evaluar el comportamiento del motor y la eficiencia de los sistemas de postratamiento con mayor precisión, reflejando el uso cotidiano de la motocicleta en distintas regiones del mundo.[23]



2.3.7.2 RDE (Real Driving Emissions)

Consiste en evaluar las emisiones contaminantes de un vehículo directamente en condiciones reales de conducción, en lugar de hacerlo únicamente en pruebas de laboratorio. Para llevarlo a cabo, se utilizan equipos portátiles de medición (PEMS) instalados en el vehículo, que registran en tiempo real gases como NO_x, CO, CO₂, HC y partículas durante recorridos normales con distintos tipos de velocidad, pendientes, temperaturas, tráfico y estilos de manejo. El objetivo de esta metodología es asegurar que el rendimiento ambiental del motor y la eficiencia de los sistemas de postratamiento se mantengan dentro de los límites establecidos no solo en entornos controlados, sino también en el uso cotidiano. Gracias a este enfoque dinámico y representativo, el RDE complementa los ensayos en banco y permite obtener una visión más precisa del impacto real de las emisiones en el medio ambiente [24].

2.3.8 *Condiciones Ambientales:*

2.3.8.1 Temperatura

Las bajas temperaturas pueden aumentar las emisiones de HC y CO debido a una combustión menos eficiente [20].

2.3.8.2 Regulaciones y Normativas:

El tipo de normativa euro afecta directamente las características técnicas de las motocicletas y la cantidad de contaminantes que emiten, teniendo al Euro 1 y Euro 2 como las menos estrictas y se usan como puntos de referencia para comparar resultados de distintos enfoques de medición [22].



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



2.3.9 Tecnologías postratamiento

2.3.9.1 Convertidor catalítico de tres vías (TWC)

El convertidor catalítico de tres vías (TWC) es el sistema de postratamiento más utilizado en motocicletas con motores de gasolina, ya que permite reducir de forma simultánea las emisiones de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos sin quemar (HC) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Su funcionamiento se basa en la realización de tres reacciones químicas principales: la oxidación de CO a CO₂, la oxidación de HC a CO₂ y H₂O, y la reducción de NO_x a nitrógeno (N₂). El platino y el paladio se usan como catalizadores de oxidación para convertir el CO y los HC en productos menos tóxicos, mientras que el rodio actúa como catalizador de reducción para disminuir las emisiones de NO_x [25].

El diseño interno del convertidor consiste en un sustrato cerámico con estructura de panel recubierto con una capa de “washcoat” que contiene los catalizadores. Esta estructura proporciona una gran área superficial que favorece el contacto de los gases de escape con el catalizador, permitiendo que las reacciones ocurran incluso a bajas temperaturas (alrededor de 250–300 °C). Para lograr su máxima eficiencia, el sistema requiere que el motor opere cerca de la relación estequiométrica aire-combustible ($\lambda \approx 1$), condición que se controla mediante sensores de oxígeno (sondas lambda) y la unidad de control electrónico (ECU).



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



2.4 Arranque en frío

Para entender la definición de arranque en frío, se debe considerar otro término que es el *arranque en caliente*. Según el Environmental Protection Agency (EPA 1993), un *arranque en caliente* ocurre cuando el motor todavía está caliente pero el convertidor catalítico está frío, y un arranque en frío ocurre cuando ambos componentes, tanto el motor como el convertidor catalítico se han enfriado dentro de los 10 °F de la temperatura ambiente. También define al arranque en frío en términos de tiempo transcurrido a partir del funcionamiento del motor: es cualquier arranque que ocurre al menos una hora después del final del viaje anterior para los vehículos equipados con catalizador [26].

El arranque en frío de los vehículos es una fuente significativa de los principales contaminantes del aire, como HC, CO, NO_x y PM. Durante los primeros minutos de funcionamiento del motor, cuando las temperaturas del bloque del motor y del refrigerante son bajas, la combustión es incompleta, lo que resulta en emisiones mucho más altas en comparación con las temperaturas normales de operación [26]. Se puede considerar que el motor está en estado de arranque en frío hasta que la temperatura del refrigerante alcanza los 70°C o hasta que el motor haya estado funcionando durante 5 minutos, de acuerdo con la directiva 2012/46/UE de la Comisión Europea [27].

Una de las razones por la que las emisiones durante el arranque en frío son más altas se debe a la temperatura subóptima de las paredes de los cilindros y el bloque del motor. Un estudio realizado demostró que la baja temperatura del bloque motor provocaba una combustión incompleta y, por lo tanto, esto podría contribuir al aumento de las



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



emisiones. Durante el arranque en frío, las bajas temperaturas del combustible y del motor pueden influir en el proceso de atomización y evaporación del combustible, lo que repercute negativamente en el rendimiento del motor y en sus emisiones [28]. Estudios demuestran que las emisiones generadas durante el arranque en frío llegan a ser hasta 7 veces mayores comparado a las emisiones generadas cuando el motor está caliente, principalmente se observó mayores emisiones con respecto a PM y NO_x [28], [29].

2.5 Termografía infrarroja

La termografía es una técnica que convierte el calor de nuestro entorno en imágenes visibles con colores que representan distintas temperaturas. Gracias a los avances tecnológicos, esta técnica se ha desarrollado y aplicado en casi todos los campos científicos, siendo una herramienta esencial en diseño, ahorro de materiales y energía [30]. Esta técnica permite observar la temperatura de una superficie con precisión sin necesidad de contacto. Basándose en principios físicos, esta técnica convierte la radiación infrarroja emitida por un objeto en lecturas de temperatura. Esto se logra midiendo la radiación en el espectro infrarrojo emitida desde la superficie del objeto y transformando estas mediciones en señales eléctricas [31].



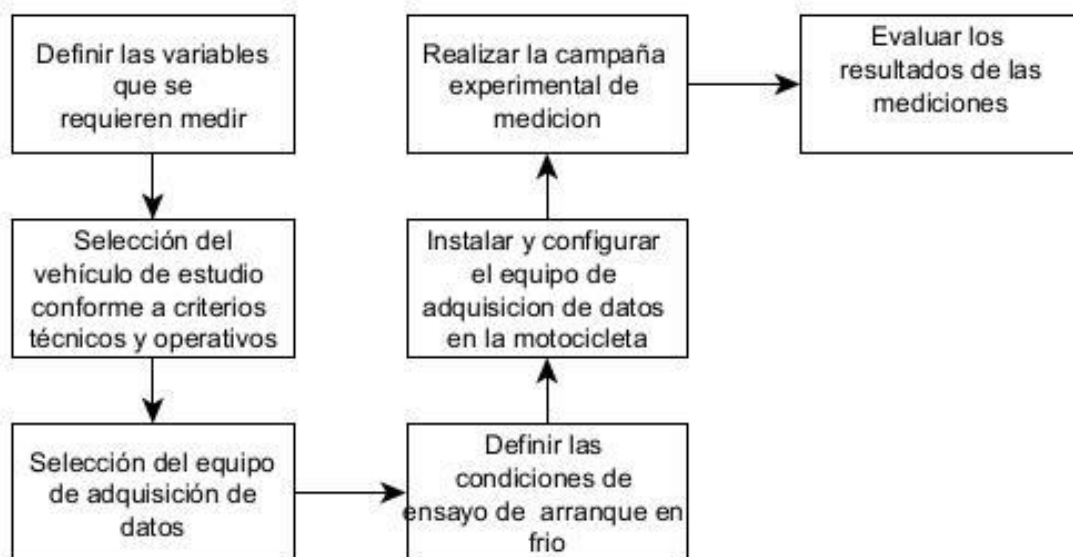
CAPÍTULO III

3 MATERIALES Y MÉTODOS

En la siguiente sección se detallará la metodología general de la presente investigación, los materiales aplicados para el estudio, la adquisición de los datos en arranque en frío, la campaña experimental, la caracterización de los sistemas del vehículo experimental y el diseño de un procedimiento para la obtención de datos.

Para el desarrollo de la presente investigación se emplea el diagrama de flujo presentado en la **Figura 1**, con el propósito de identificar las variables y metodologías de interés relacionadas con el estudio del comportamiento de motores de combustión interna durante el arranque en frío.

Figura 1. Metodología para el desarrollo del trabajo de investigación



(Autoría propia)



3.1 Determinación de variables de estudio

Para seleccionar las variables necesarias para caracterizar el motor y el sistema de inyección durante el arranque en frío en una motocicleta, es fundamental definir previamente los parámetros de la campaña experimental. A continuación, se detallan dichos parámetros y las variables seleccionadas, las cuales están relacionadas con los modos de operación de la motocicleta y con las variables propias del funcionamiento del motor.

3.1.1 Parámetros establecidos para la campaña experimental

Para el desarrollo de este estudio se estableció que la campaña experimental se centrara en la obtención de datos de la motocicleta bajo tres diferentes tipos de ensayos que están sujetos directamente a parámetros específicos de operación del vehículo. En la **Tabla 1** se detalla cada uno. Para acercarnos a valores más reales se optó que las pruebas sean realizadas durante tres casos específicos de operación; el primero cuando el motor se encuentre en sus revoluciones mínimas de operación o ralentí; el segundo caso, se optó por realizar las pruebas durante un ciclo de aceleración constante; y el tercer caso, se optó por realizar las pruebas en condiciones reales de funcionamiento, basándose en el ensayo RDE (Real Driving Emissions) de vehículos livianos, definida en el *Commission Regulation (EU) 2017/1151*, la cual complementa al Reglamento (EC) No. 715/2007 en lo referente a la homologación de vehículos y control de emisiones en condiciones reales de operación.

Tabla 1. Tipos de ensayo

Tipo de ensayo	Criterio
Ralentí	Motor a revoluciones mínimas de operación
Aceleración libre	Elevar las revoluciones hasta 3000-3900 rpm
Ensayo RDE	Condiciones reales de funcionamiento

(Autoría propia)



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



3.1.2 Variables de operación del motor

A continuación, se enlistan las variables que se requieren medir para el desarrollo del estudio.

- Régimen de giro de motor (Rev/min)
- Temperatura del refrigerante (°C)
- Sonda lambda
- Consumo de combustible (gal/min)

3.2 Materiales y equipos

3.2.1 Selección del vehículo

Durante el año 2024 se han comercializado 219.280 motocicletas en el Ecuador, esto representa un notorio crecimiento del mercado con respecto a las unidades vendidas en el mismo periodo de 2023 (AEADE, 2024).

Como criterios principales para la selección del vehículo se estableció que sea una marca que sea representativa y comercializada dentro del país, así mismo, este debía contar con sistema de inyección electrónico y, por último, la motocicleta debía ser accesible considerando el presupuesto establecido inicialmente para el desarrollo del presente proyecto de investigación.

3.2.1.1 Vehículo seleccionado

Basado en los criterios mencionados anteriormente, la motocicleta seleccionada (**Figura 2**) fue una Benelli TNT 25N, de una cilindrada de 250 cm³ y con un sistema de inyección electrónica.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Figura 2. Vehículo seleccionado para la campaña experimental



Tomado de: Benelli Ecuador, 2025

Las características técnicas de la motocicleta se especifican en la **Tabla 2**. Cabe mencionar que la motocicleta se encuentra en buenas condiciones de funcionamiento y esta fue aprobada por la revisión técnica vehicular del presente año.

Tabla 2. Especificaciones técnicas Benelli Tnt 25

Variable	Descripción
Marca	Benelli
Modelo	TNT 25
Año	2017
Motor	1 cilindro/4 tiempos
Kilometraje	46532
Sistema de combustible	Inyección electrónica
Motor de arranque	Eléctrico
Potencia	19 KW/25 HP
Par máximo	21.2 Nm
Relación de compresión	11.2:1
Cilindrada	250 cm ³



Trasmisión	Manual 6 velocidades
Peso bruto vehicular	349 kg
Tara	157 kg
Distancia entre ejes	1365 mm
Largo/ancho/alto	2050 mm/810 mm/1065 mm
Batería	12 V, 8Ah

Tomado de: Benelli Ecuador, 2025

3.2.2 Selección del equipo de adquisición de datos

La selección del equipo debe garantizar el registro de las variables de operación de motor seleccionadas. Además, el equipo de adquisición de datos debe ser capaz de registrar las variables de estudio seleccionadas con una frecuencia de muestreo considerable, en este caso, de hasta 1 Hz, así mismo, operar con un voltaje considerablemente bajo de 5V a 10V para que este pueda ser alimentado a través del puerto de diagnóstico que tenga la motocicleta o de una fuente de alimentación externa de manera sencilla.

Una vez establecidos estos criterios, se seleccionó un registrador de datos para finalmente realizar la campaña experimental. El registrador de datos seleccionado es el CANedge, además se consideró un par de complementos para este data logger que es el módulo CANmod.input: Convertidor Analógico/Digital/Pulso a CAN Bus y el módulo CANmod.gps con su respectiva antena de posicionamiento GNSS.

El CANmod.input se integra con cualquier bus CAN para proporcionar datos para ECU o herramientas CAN. Este módulo produce mediciones analógicas, digitales y de pulso a partir de 8 canales de entrada: y emite los datos a través del bus CAN. Este módulo



permite realizar muestreos de alta precisión y frecuencia, así como entrada configurable rangos y umbrales digitales. De igual forma, el CANmod.gps produce datos de posición GNSS e inerciales en 3D (a través de un giroscopio y acelerómetro) y lo emite a través del bus CAN.

Por otro lado, para el uso tanto del CANedge y la conexión de ambos módulos se requirió el uso de varios adaptadores de conexión especiales, cada uno para distintas situaciones. uno para la conexión de sensores analógicos, digitales o de tipo pulso; otro que se encarga de la lectura del bus CAN, el siguiente cuando necesitemos registrar datos de bus CAN con un conector no estándar y por último un cable para proporcionar alimentación al módulo en caso de que el conector del vehículo no proporcione alimentación. En la **Tabla 3** se muestra un resumen de los equipos utilizados junto a la función de cada uno de estos.

Tabla 3. Equipos utilizados y su función

Equipos	Función
Registrador de datos: CANedge	Registrar datos directamente de la red CAN
CANmod.input	Produce mediciones analógicas, digitales y de pulso a partir de 8 canales de entrada y emite los datos a través del bus CAN.
CANmod.gps	Obtener datos de posición e inerciales del vehículo en tiempo real y enviarlos la red CAN
Cable DB25-to-Input	Divide los pines del conector CANmod.input en 8 cables separados para la conexión de sensores analógicos, digitales o de tipo pulso.
DB9-DB9/DB9 - Divisor en Y	Permite dividir fácilmente un solo conector DB9 de bus CAN en dos conectores.
Cable DB9 a DB9/DC	Adaptador que proporciona energía independiente de la red CAN.

Tomado de: CSS Electronics, 2025



3.2.3 Registrador de datos: CANedge

El CANedge (**Figura 3**) es un registrador de datos que permite grabar información mediante una red CAN y almacenarla en una memoria externa para su posterior procesamiento. El dispositivo es compatible con software libre e interoperable con bases de datos de decodificación de libre acceso, mismas que son proveídas por el fabricante Coss electronics. Además, su diseño compacto y velocidad de reloj interno de 50 μ s permite su aplicación en el vehículo de estudio sin pérdidas de información.

Figura 3. Registrador de datos CANedge



Tomado de: CSS Electronics, 2025

Las características técnicas relevantes para el estudio se presentan en la **Tabla 4**. Entre ellas, los dos canales de conexión permitieron integrar dos redes CAN en una sola. Además, soporta identificadores de datos tanto de 11 y 29 bits por lo cual se logró registrar los mensajes enviados por los módulos en cuestión, que son guardados en la tarjeta microSD extraíble que incluye el CANedge, para posteriormente poder extraer los datos y procesarlos.

*Tabla 4. Características técnicas de CANedge*

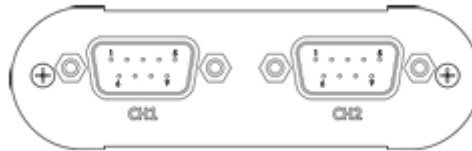
Característica	Descripción
Canales de conexión	2 canales CAN con soporte CAN – FD
Estándares de funcionamiento	ISO 11898 (hasta 1 Mbit/s) y Bosch CAN FD (hasta 4 Mbit/s)
Protocolos	Grabación de datos en todos los protocolos basados en CAN
Identificadores de datos soportados	ID de 11 y 29 bits
Tarjeta SD	Compatibilidad para microSD de tipo industrial de hasta 32 GB.
Reloj de tiempo real	Lectura a 80 MB/s RTC de resolución de hasta 50 microsegundos
Formato de grabación de archivos	Estándar industrial binario (MF4)
Alimentación eléctrica	De +7V hasta +32V DC a través del canal 1 con protección de inversión de voltaje
Consumo de energía	Aproximadamente 1 W

Tomado de: CSS Electronics, 2025

Por otro lado, fue necesario conocer la disposición de pines de los dos canales disponibles en el equipo de recolección de datos para integrar los módulos mediante la red CAN del dispositivo. Dicha disposición al igual que la descripción de cada uno de ellos se presentan en la **Figura 4** y en la **Tabla 5** respectivamente.



Figura 4. Disposición de pines de CANedge



Tomado de: CSS Electronics, 2025

Tabla 5. Descripción de pines de CANedge

Pin	Canal 1 (CH1)	Canal 2 (CH2)
1	NA	Salida de voltaje (5V)
2	CAN 1 L	CAN 2 L
3	GND	GND
4	LIN Data1	LIN Data 2
5	NA	NA
6	GND	GND (Opcional)
7	CAN 1H	CAN 2 H
8	NA	NA
9	Alimentación y VBAT de LIN1	VBAT de LIN 2

Tomado de: CSS Electronics, 2025

3.2.4 CANmod.input: Convertidor Analógico/Digital/de Pulso a Bus CAN

Este módulo de sensor a CAN (**Figura 5**) produce mediciones analógicas, digitales y de pulso a partir de 8 canales de entrada: y emite los datos a través del bus CAN. El dispositivo ofrece especificaciones que incluyen muestreo de alta precisión y frecuencia, así como entrada configurable rangos y umbrales digitales.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



El módulo se integra con cualquier bus CAN para proporcionar datos para ECU o herramientas CAN. Las características técnicas de este módulo se presentan en la **Tabla 6**.

Figura 5. CANmod.input



Tomado de: CSS Electronics, 2025

Tabla 6. Características técnicas de CANmod.input

Característica	Descripción
Canales de conexión	Soporta 8 canales de entrada
Tipos de sensores	Los 8 canales de entrada admiten sensores analógicos, digitales y de tipo pulso
Método de muestreo	Cada canal de entrada muestrea la señal analógica, digital y de pulsos del sensor conectado
Rango de entrada	Rangos de entrada configurables (0-10 V, 0-5 V, 0-2,5 V, 0-1,25 V, 0-0,625 V)
Frecuencia de muestreo	Entradas analógicas: 1 kHz Digital: 1 kHz Pulso (frecuencia/contador): 16 kHz
Modos de pulso	Las entradas de pulso se pueden medir como frecuencias (reinicio) o contadores (acumulación)
Resolución de pulso	Hasta 32 bits (4.294.967.294)
Suministro de insumos	De +5 V a +26 V CC a través del conector DB9 (alimentación a través del pin 1 o el pin 9)
Consumo de energía	Extremadamente bajo (<1 W): sin riesgo de agotamiento de la batería



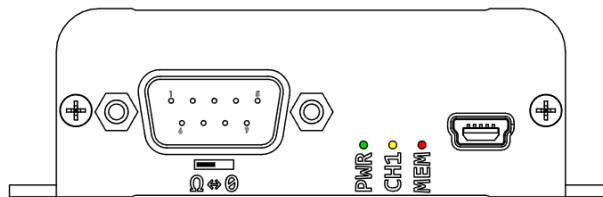
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Tomado de: CSS Electronics, 2025

También, fue necesario conocer la disposición de pines del módulo. Dicha disposición al igual que la descripción de cada uno de ellos se presentan en la **Figura 6** y en la **Tabla 7** respectivamente.

Figura 6. *Disposición de pines de CANmod.input*



Tomado de: CSS Electronics, 2025

Tabla 7. *Descripción de pines de CANmod.input*

Pin	Canal 2 (CH2)
1	Alimentación (5 V)
2	LATA 1 L
3	GND
4	NC
5	NC
6	GND (Opcional)
7	LATA 1 H
8	NC
9	Alimentación (5-24 V)

Tomado de: CSS Electronics, 2025



3.2.5 CANmod.gps con sensor inercial 3D

El CANmod.gps (**Figura 7**) es un módulo autónomo que convierte datos de posición GNSS y lecturas de sensores inerciales 3D (acelerómetro y giroscopio) en mensajes CAN. Es completamente configurable en cuanto a IDs CAN, velocidad de transmisión y frecuencia de mensajes, y puede ser alimentado mediante 5 a 26 V DC a través de un conector DB9 estándar. Su diseño plug & play lo hace ideal como complemento para registradores como el CANedge, y se entrega con un archivo DBC para facilitar la decodificación de datos. Las especificaciones técnicas de este modulo se presentan en la **Tabla 8**.

Figura 7. CANmod.gps: GPS-CAN con sensor inercial 3D



Tomado de: CSS Electronics, 2025

Tabla 8. Características técnicas CANmod.gps

Característica	Descripción
Sistema GNSS soportado	Combinaciones de GPS, Galileo, BeiDou y GLONASS
Precisión	Posición: 2,5 m Inclinación: 1 grado Velocidad: 0,05 m/s
Datos proporcionados	Posición, tiempo, velocidad, altitud, orientación y distancia proveídos por GNSS.
Canales	1 canal CAN



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

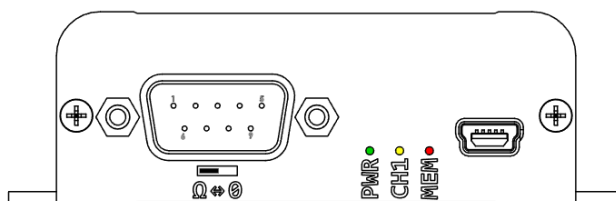


Estándar de funcionamiento	ISO 11898 de hasta 1 Mbit/s
Tasa de bits	Seleccionable desde 5K hasta 1M con posibilidad de bits personalizados
Frecuencia de muestreo	Desde 1 Hz hasta 10 Hz (dependiendo de la característica)
Alimentación	Desde +5 V hasta +24 V a través de conexiones de pin 1 o 9 con protección de inversión de voltaje
Consumo de energía	Aproximadamente 1 W

Tomado de: CSS Electronics, 2025

El CANmod.gps utiliza un conector DB9 para el suministro y el bus CAN (*CAN-P*). Utiliza un conector mini-USB para la configuración, la transmisión y la actualización del firmware. La **Figura 8** y **Tabla 9** muestran la disposición y descripción de cada uno de los pines del módulo respectivamente.

Figura 8. Disposición de pines CANmod.gps



Tomado de: CSS Electronics, 2025

Tabla 9. Descripción de pines CANmod.gps

Pin	Canal 2 (CH2)
1	Alimentación (5 V)
2	CAN 1 L
3	GND
4	NA
5	NA



6	GND (Opcional)
7	CAN 1 H
8	NA
9	Alimentación (5-24 V)

Tomado de: CSS Electronics, 2025

3.2.6 Registrador de Datos ELM327

El registrador de datos ELM327 (**Figura 9**) se conectó al módulo de control electrónico (ECU) del vehículo a través del conector OBD – II y permitió acceder a datos de operación de motor mediante su aplicación móvil (Torque Pro). ELM327 soporta todos los protocolos de transmisión de datos utilizados en la conexión mediante OBD – II tales como SAE J1850 PWM, SAE J1850 VPW, ISO 9141 – 2, ISO 14230 – 4 KWP, ISO 15765 – 4 CAN y SAE J1939.

Figura 9. Registrador de datos ELM327



3.3 Instalación y configuración del equipo de adquisición de datos en la motocicleta.

3.3.1 Configuración modulo ELM327

Debido a que el módulo ELM327 cuenta con una configuración y salida de 16 pines correspondientes a la norma ISO 9141; y a su vez el sistema estandarizado OBD para motos (ISO 19689) cuenta con una configuración y salida de 6 pines, se tuvo que



identificar y seleccionar los pines necesarios para realizar la conexión y la lectura de datos adecuados. La **Tabla 10** detalla la distribución y conexión de los pines.

Tabla 10. Distribución y conexión de pines modulo ELM327-OBDII moto

Pines ELM327	Señal	OBD 6 pines
6	CAN H	2
4/5	GND	3
16	VBAT	4
14	CAN L	5
7	K-LINE	6

(Autoría propia)

La configuración del módulo se realizó a través de su aplicación móvil Torque Pro (**Figura 10**). La aplicación permitió la recolección de datos de operación del motor al conectarse por medio de Bluetooth al módulo ELM327. Se utilizó su versión de pago y se creó un perfil de vehículo con las características del vehículo ocupado durante la campaña experimental.

Figura 10. Interfaz Torque Pro



Como primera instancia se realizó pruebas iniciales conectando el módulo con la salida OBD de la motocicleta para verificar los datos de operación del motor que era capaz de



registrar de manera correcta. Una vez determinado estos datos validos se procedió a seleccionar estos únicos para no generar archivos con datos innecesarios (**Tabla 11**).

Tabla 11. Datos de operación del motor registrados en Torque Pro

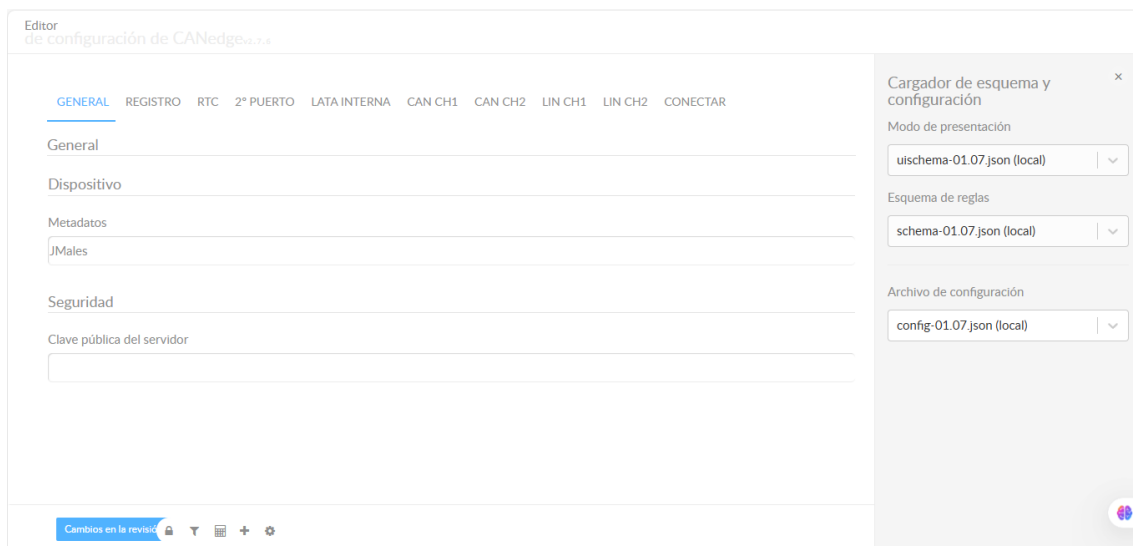
Revoluciones del motor	RPM
Temperatura del refrigerante del motor	°C

(Autoría propia)

3.3.2 Configuración de CANedge + CANmod.gps + CANmod.input

La configuración del dispositivo CANedge junto con los módulos seleccionados, CANmod.gps y CANmod.input se realizó siguiendo lo especificado en el manual de instrucciones y el editor de configuración proveídos por CSS Electronics (**Figura 11**). Se partió del archivo de configuración base proveída por el fabricante (archivos. json) y se configuró un canal de red CAN, el cual era para la comunicación de los módulos CANmod.gps y CANmod.input; a su vez, estos conectado a través de cables conectores que proveían alimentación a través de OBD y el envío de los respectivos datos.

Figura 11. Interfaz de CANEdge config editor para CANedge





Tomado de: CSS Electronics, 2025

Una vez revisado el manual de fabricante del CANedge2, provisto en la página web de CSS Electronics se realizó las configuraciones necesarias de acuerdo con lo requerido en el presente trabajo, asegurando que la configuración no presente ningún error. En la pestaña LOG, los parámetros se mantuvieron de fábrica, por lo que el tamaño máximo de cada registro de datos es de 50 MB, la compresión de los datos está deshabilitada y el ciclado de registros habilitado. En la pestaña RTC (Real – Time – Clock), siguiendo los pasos propuestos por la documentación de CANMod.gps para obtener datos de tiempo precisos a partir de GNSS, se seleccionó el tipo de sincronización CAN – bus. La zona horaria se ajustó a UTC -5, correspondiente a la del Ecuador y el ajuste fino en segundos se mantuvo en el valor de fábrica (0 segundos). En el apartado Channel de la pestaña RTC se selecciona el primer canal de CANedge (CAN 1). Las demás configuraciones se dejan por defecto. En los apartados Time valid signal y Time value signal, se utilizaron los datos propuestos por el manual de instrucciones de CANedge.

En las pestañas 2ND – PORT y CAN INTERNAL se utilizaron las configuraciones por defecto, ya que el pin de 5V del segundo canal de CANedge no fue utilizado y no se establecieron disparadores para el inicio y final de la recolección de datos. En la pestaña CAN CH se habilitó la recepción (rx) y transmisión (tx) de datos al encender el dispositivo. Debido al funcionamiento normal de obtención de datos a partir del conector OBD – II, el modo de comunicación se estableció como Normal y la tasa de bits en 500 Kbit/s con configuración Bit – rate (simple).

Normalmente, los registradores e interfaces CAN están configurados para simplemente observar el tráfico que ya circula por la red CAN. Sin embargo, hay situaciones en las que solo escuchar no basta, ya que ciertos mensajes CAN no se envían a menos que sean solicitados específicamente, como ocurre en protocolos como OBD2 o en algunos mensajes PGN del estándar J1939. Por esta razón es necesario realizar solicitudes PID OBD2 para transmitir tramas CAN personalizadas a nuestro registrador de datos.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Con la ayuda de la herramienta de búsqueda OBD II PID Overview (**Figura 12**) proporcionado por el fabricante, se procedió a seleccionar las solicitudes PID de OBD2 requeridas.

Figura 12. Herramienta de búsqueda OBD2 PID

Descripción general de OBD2 PID [herramienta de búsqueda/convertidor, tabla, CSV, DBC]

PID	Nombre	Inicio de bits	Longitud de bits	Escama	Compensar	Mín. Máximo	Unidad
03	Estado del sistema de combus	31	16	1	0		Codificado
IDENTIFICACIÓN DE CAN							
		Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5 Byte 6 Byte 7
Pedir	7DF	02	01	03	AA	AA	AA AA AA
Respuesta (ejemplo)	7E8	04	41	03	12	34	AA AA AA
Valor físico (DEC)	= 0	+	1	*	4660	=	4660 Codificado

Tomado de: CSS Electronics, 2025

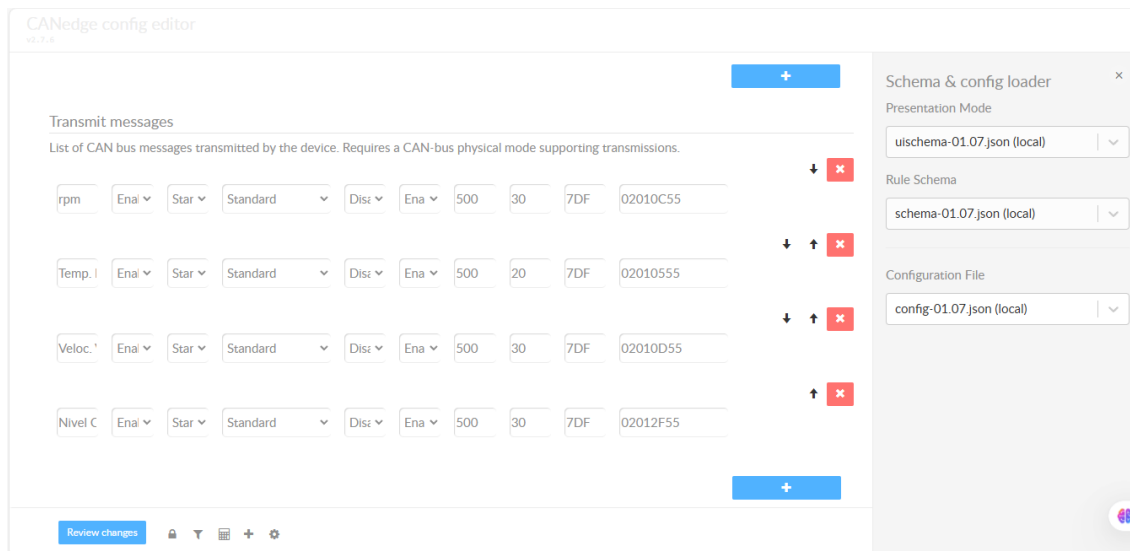
En el apartado Transmit messages del editor de configuración (**Figura 13**) se agregó las solicitudes de PIDs necesarios, según las variables propuestos a medir establecidos anteriormente. Para su correcto registro se debe tomar en cuenta que cada trama de transmisión CAN se retrasa 30 ms para evitar la superposición en las consultas de mensajes. La frecuencia se establece en 500 ms para evitar solicitudes excesivas en comparación con la resolución de datos (que es baja para OBD2). El campo "id" es 7DF, que para OBD2 refleja un mensaje de "solicitud" (mientras que, 7E8 refleja un mensaje de "respuesta"). El campo "datos" muestra la estructura de la trama de solicitud OBD2, incluyendo en particular el PID HEX que se solicita en el 3er byte. El primer byte corresponde al número de bytes adicionales, el segundo byte corresponde al "modo" OBD2, el tercer byte refleja el ID del parámetro a solicitar y por último, los bytes restantes del campo de datos se establecen en **55** ('cargas ficticias') y se ignoran.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Figura 13. Configuración de solicitudes PIDs



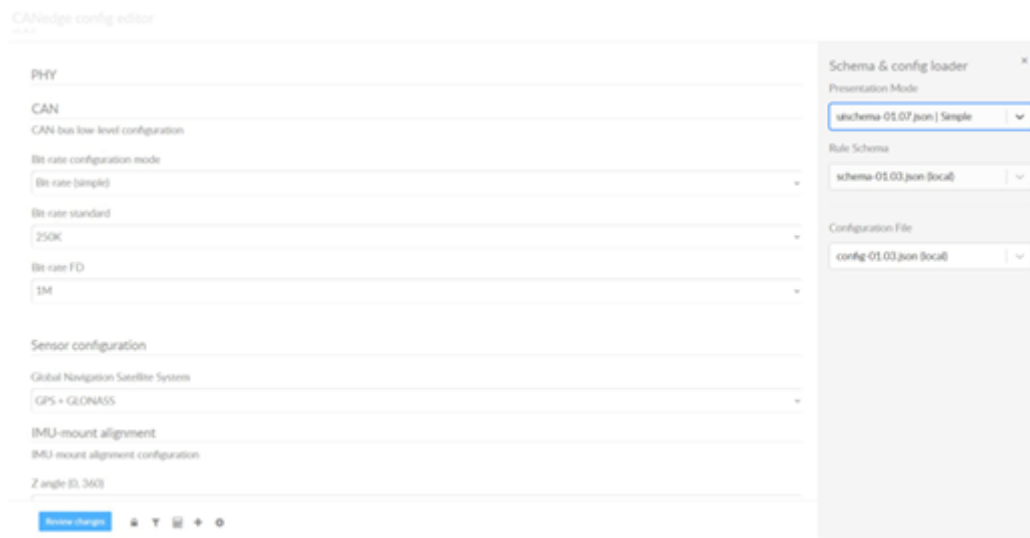
Tomado de: CSS Electronics, 2025

La pestaña CAN CH2 se mantuvo con su configuración predeterminada puesto que este canal no será utilizado durante la campaña experimental. Las características disponibles en las pestañas LIN CH1, LIN CH2 y CONNECT no fueron utilizadas tampoco.

3.3.3 Configuración de Módulo CANMod.gps con Sensor Inercial 3D

La configuración cargada en el módulo de posición, tiene dos apartados importantes para la investigación en cuestión: la tasa de bits utilizada y la activación de la fusión de sensores. La primera permitió conectar el módulo de CANMod.gps en paralelo con CANedge, 80 mientras que la segunda permitió obtener datos de posición más precisos incluso cuando la señal GNSS no estuviese disponible. Para configurar ambos apartados, se utilizó la misma interfaz gráfica proveída por CSS Electronics, mostrada en la **Figura 14**.

Figura 14. Interfaz de CANEdge config editor para CANMod.gps



Tomado de: CSS Electronics, 2025

La tasa de bits se configuró en 500 kbit/s. Así, el módulo actuó como receptor de posición por medio de GNSS y como actualizador del RTC de CANedge al haberse conectado en el CH 1.

3.3.4 Configuración de Módulo CANmod.input

Para la configuración de este módulo se siguieron los pasos indicados en el manual de usuario del proveedor. En primer lugar, se abrió el editor de configuración del CANmod (**Figura 15**), y posteriormente se procedió a cargar los archivos JSON desde el almacenamiento interno del módulo.

En la sección "Físico", se configuró el modo de operación del dispositivo con respecto al bus CAN. En este caso, se seleccionó el modo normal, se habilitó la retransmisión automática, y se estableció la velocidad de bits, la cual debe coincidir con la configuración previamente realizada en el CANedge.

La sección "Sensor" permite definir la configuración estándar para cada canal disponible del CANmod. Aquí se seleccionan las variaciones de voltaje en función del tipo de sensor a utilizar, considerando si la señal a recibir es analógica, digital o de pulso.

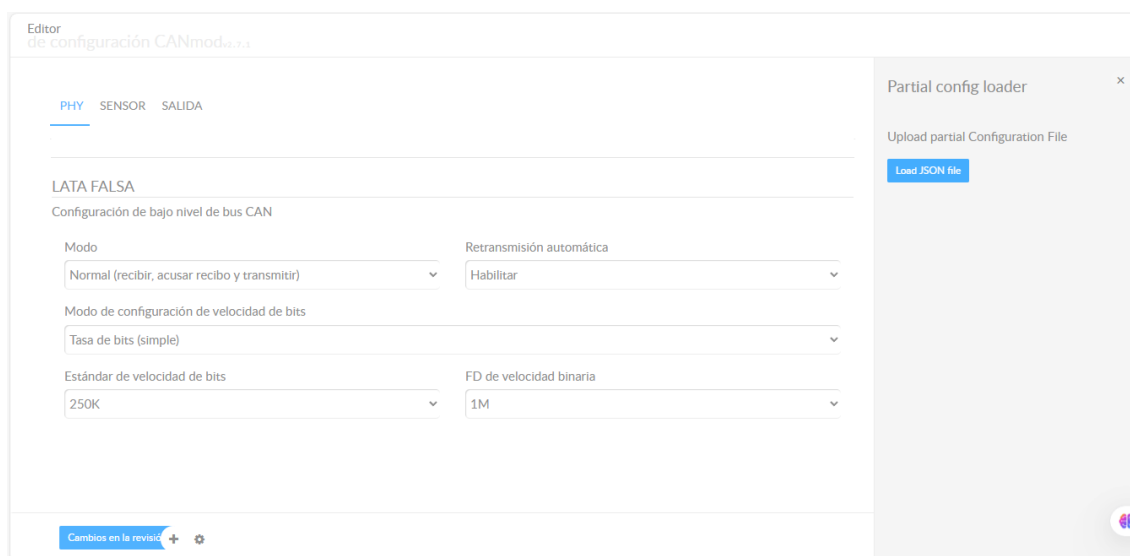


Por último, la sección "Salida" permite configurar cómo el módulo interpretará las señales y cómo almacenará los datos. En esta sección se seleccionan los canales que se utilizarán, habilitándolos según el tipo de señal que se va a medir. En este caso, se activaron los canales analógicos 1 a 4, asignando el canal 1 para la medición del sensor de temperatura y el canal 2 para el sensor de oxígeno.

El formato de mensaje se mantuvo en su valor predeterminado, estándar (11 bits). El ID de mensaje también se mantuvo por defecto, siempre y cuando fuera único y no coincidiera con otros IDs utilizados por otros canales o módulos conectados. El método de activación se estableció en modo "push" (empujar) y el escalador se dejó en su valor estándar.

Una vez finalizados los cambios, se guardó y descargó el archivo de configuración en formato JSON, y mediante la conexión mini USB entre el CANmod y la computadora, se transfirió el archivo al dispositivo.

Figura 15. Interfaz de CANEdge config editor para CANMod.input



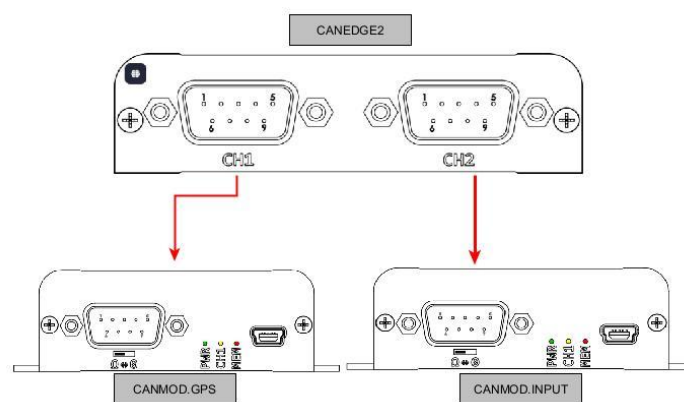
Tomado de: CSS Electronics, 2025



3.3.5 Conexión e integración de los equipos de recolección de datos

La conexión de los dispositivos CANedge, CANmod.gps y CANmod.input se realizó de acuerdo con las configuraciones establecidas previamente. A través de cables adaptadores DB9-DB9, el módulo CANmod.gps se conectó al canal 1 del CANedge, mientras que el módulo CANmod.input se conectó al canal 2 (**Figura 16**). Para alimentar el CANedge, se utilizó un adaptador DB9 genérico conectado al canal 1 del dispositivo.

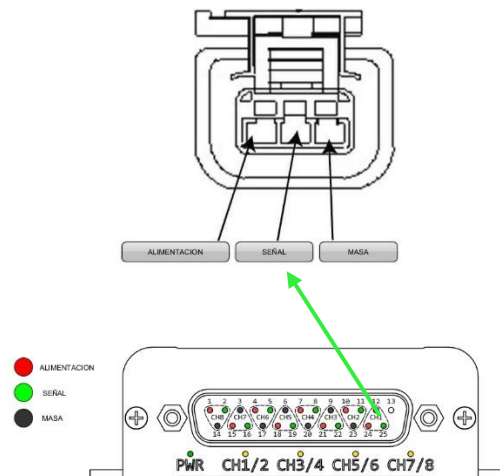
Figura 16. Conexión física entre CANedge y sus módulos



(Autoría propia)

La conexión de los sensores de temperatura y oxígeno al CANmod.input se efectuó siguiendo las especificaciones del manual del fabricante (**Figura 17**). El pin de señal de cada sensor fue conectado directamente al pin de señal (SIGN) del conector DB25, respetando la asignación de canales definida en la configuración.

Figura 17. Conexión sensores a CANmod.input



(Autoría propia)

Por otra parte, el dispositivo ELM327 se conectó directamente al conector OBD de la motocicleta mediante un cable OBD-6 estándar. La alimentación eléctrica para ambos sistemas de adquisición (CANedge y ELM327) se obtuvo a través del mismo canal OBD de la motocicleta.

El ELM327 fue alimentado mediante conexión directa por la configuración especificada previamente. Por otro lado, el CANedge fue alimentado mediante una adaptación que se hizo al cable OBD-6, donde se identificó los pines de alimentación (pin 4) y de masa (pin 2) y se realizó una conexión externa a través del cable DB9-generico. El módulo CANmod.gps y CANmod.input se alimentan directamente mediante la conexión hacia el CANedge, por lo cual no hizo falta agregar una fuente de alimentación externa.

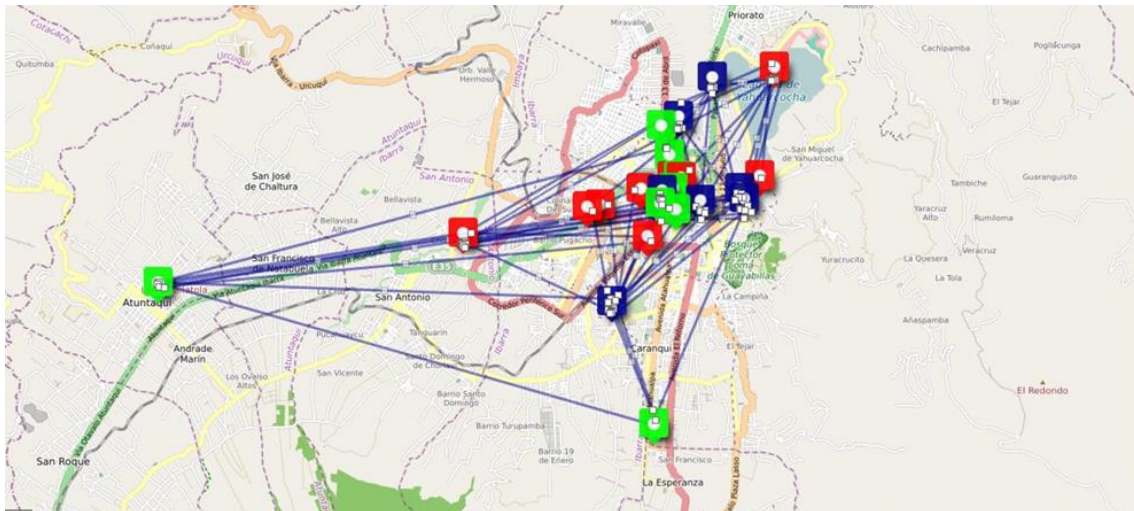
3.4 Obtención de la ruta

La obtención de la ruta se basó en proyectos de investigación realizados previamente [32] [33], donde se tuvo en cuenta el plan de movilidad de la ciudad de Ibarra y los principales puntos de movilidad dentro y fuera de la ciudad de Ibarra. Considerando zonas de movilidad y puntos de atracción ya sea por diferentes motivos como trabajo, estudio y recreación.



La **Figura 18** muestra la matriz origen-destino, donde se muestra la movilidad según la causa, iconos azules por trabajo, iconos verdes por estudio e iconos rojos por ocio. Esto sirvió de base para establecer las principales rutas de movilidad de la ciudad.

Figura 18. Matriz origen-destino UMAP



Tomado de: Camuendo, O; Pastaz, M. [32]

Una vez establecidos estos puntos se determinó la ruta de prueba completa, considerando tres distintas zonas: urbana, rural y autopista.

3.4.1 Zona urbana de la ciudad de Ibarra

La **Figura 19** muestra la zona urbana (caracterizado por el color azul) por donde se realizará la campaña experimental, esta ruta se caracteriza por su alta afluencia de vehículos, límites de velocidad (50km/h) y por presentar una mayor congestión vehicular. Además, abarca un total de 19km, partiendo desde el sector de La Florida hasta terminar en el sector de El Retorno.

3.4.2 Zona rural de la ciudad de Ibarra

Como se muestra en **Figura 19**, la zona rural, representado por el color verde, se caracteriza principalmente por su posición geográfica, es decir, se encuentra alejada del



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



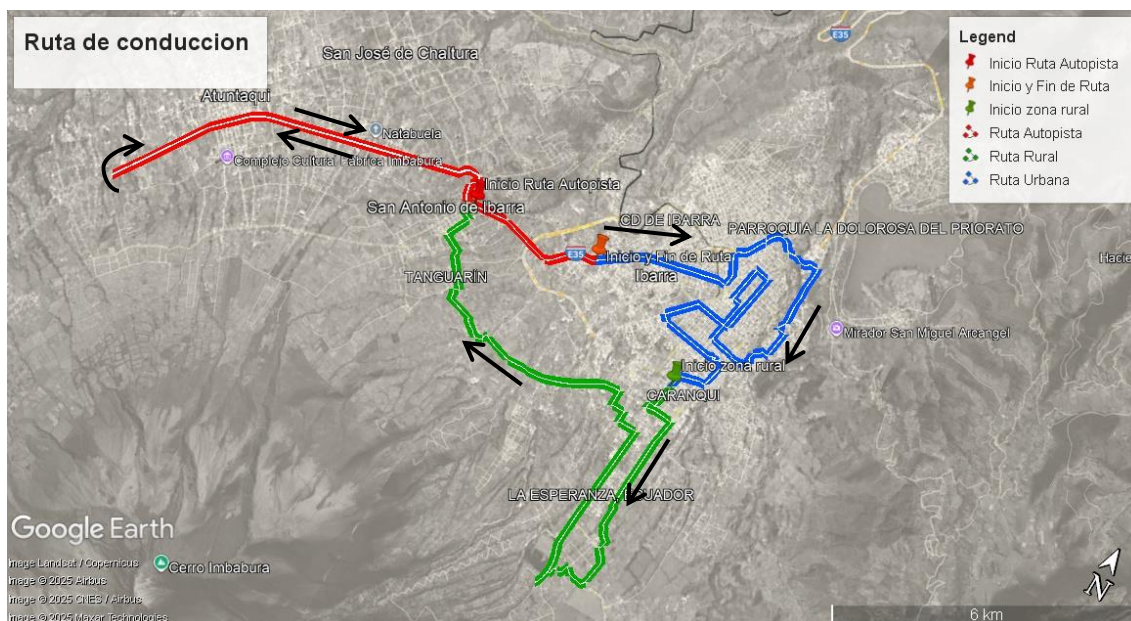
centro de la ciudad, cuenta con una zona residencial alta y una zona comercial baja. Además, se considera las pendientes en la ruta y su tipo de calzada.

Esta ruta continua el recorrido con la ubicación donde termino la ruta urbana. Cuenta con un recorrido total de 17.7 km y termina en San Antonio, justo en el punto de salida a la autopista.

3.4.3 Zona de autopista

Esta zona se caracteriza principalmente por ser una vía rápida, como muestra la zona roja presentada en la **Figura 19**, cuenta con recorrido total de 17.7 km. Empieza por la salida de San Antonio, realiza un recorrido hasta llegar al peaje de San Roque, donde realiza una curva en U y vuelve por la misma autopista hasta llegar al punto de inicio de la ruta urbana, por el sector de La Florida.

Figura 19. Mapa ruta de conducción



Tomado de: Google Earth, 2025



3.5 Pruebas Iniciales

Como parte de la fase preliminar del estudio, se realizó una verificación completa de la instalación de los dispositivos de medición, comprobando que funcionaran correctamente y que la transmisión de datos se llevara a cabo sin inconvenientes. También se evaluó la sincronización entre los diferentes sistemas conectados. Una vez verificada la operatividad del conjunto, se validaron los primeros datos obtenidos, lo cual fue clave para establecer el protocolo de adquisición que se utilizaría en la etapa experimental, así como para orientar el análisis posterior de la información recopilada. Tras estas pruebas iniciales, se definieron las configuraciones finales y se completó la instalación de todos los equipos, asegurando su buen funcionamiento bajo las condiciones establecidas. En los apartados siguientes se describen las pruebas realizadas con el protocolo OBD-II, las pruebas de comunicación mediante red CAN y los ajustes finales aplicados a los sistemas de adquisición.

3.6 Campaña experimental

En este apartado se describe detalladamente la campaña experimental, resaltando sus elementos más significativos. Dicha campaña fue desarrollada tomando en cuenta los factores esenciales para analizar adecuadamente el comportamiento del motor durante el arranque en frío. Se efectuaron ensayos tanto en ralentí como en condiciones de circulación. En cada caso, se consideraron variables relevantes propias del arranque en frío, lo que permitió evaluar el desempeño del motor según su modo de funcionamiento.

3.6.1 Descripción de ensayos

Para este estudio se realizaron ensayos de arranque en frío con el fin de analizar el comportamiento del motor y el sistema de inyección electrónica en condiciones térmicas adversas. Estas pruebas permiten identificar variaciones en los parámetros operativos del motor que influyen en la eficiencia de la combustión y en las emisiones contaminantes.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Antes de cada prueba, se establecieron las siguientes condiciones técnicas con el objetivo de asegurar la repetibilidad y validez de los resultados:

- El motor debía permanecer apagado durante un mínimo de 6 horas previas al arranque, para asegurar una temperatura ambiente en todos los componentes.
- Se verificó el correcto estado del sistema de alimentación de combustible.
- Se comprobó el funcionamiento óptimo de los sensores involucrados en la gestión electrónica del motor de los cuales se extraerán datos para su posterior procesamiento.

3.6.1.1 Ensayo en ralentí

Una vez verificados los puntos previos, se procede a realizar la primera prueba con el motor funcionando en régimen de ralentí (mínimas revoluciones):

- Se instalan y configuran correctamente todos los equipos de recolección de datos, según lo especificado anteriormente.
- Con la transmisión en punto neutro, se realiza un único intento de arranque hasta que el motor encienda.
- El motor debe mantenerse encendido durante al menos 15 minutos, sin realizar aceleraciones ni manipulaciones a otros sistemas de la motocicleta, a fin de garantizar una recolección de datos precisa y representativa del comportamiento en ralentí.

3.6.1.2 Ensayo en aceleración libre

El segundo ensayo toma como base los ensayos de emisión de gases que debe pasar un vehículo mediante la revisión técnica vehicular (RTV) [34], bases cuales son reguladas por la Agencia Nacional de Tránsito.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Los pasos que seguir para esta prueba son similares a las pruebas en ralentí. A continuación, se detalla:

- Se instalan y configuran correctamente todos los equipos de recolección de datos, según lo especificado anteriormente.
- Con la transmisión en punto neutro, se realiza un único arranque hasta que el motor encienda.
- De acuerdo con el instructivo de la RTV, en el caso de una motocicleta, este debe ser acelerado entre un rango de 3000 a 3900 rpm.
- La motocicleta se mantendrá acelerado dentro de este rango por lo menos 15 minutos, esto con el fin de asegurar una correcta recolección de datos y que los mismo tengan una referencia de tiempo igual al ensayo realizado en ralentí.

3.6.1.3 Ensayo en condiciones reales

Este ensayo se realiza en función de la ruta especificada anteriormente. A continuación, se presentan los puntos clave para la correcta realización de este ensayo:

- La moto será ubicada en el punto de inicio de la ruta, sin haber sido encendida en ningún momento para asegurar una correcta recolección de datos.
- Para evitar errores en la toma de datos, se deben asegurar todos los equipos de adquisición de datos al chasis o alguna estructura fija de la motocicleta para que no sucedan desconexiones o caídas durante la campaña experimental.
- Para asegurar el cumplimiento de la ruta especificada se hace uso de una aplicación de mapas en un teléfono móvil donde se carga la ruta creada.

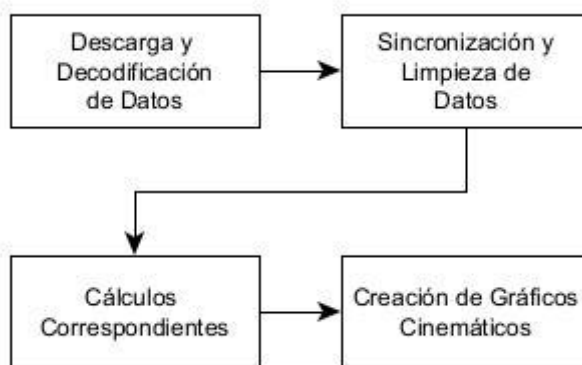
3.7 Procesamiento de datos

El tratamiento de los datos registrados durante la etapa experimental se llevó a cabo en 4 diferentes fases claramente diferenciadas, dentro de las cuales se desarrollaron sus



debidos procesos internos, los cuales se muestran en la **Figura 20**. Estas fases de procesamiento fueron fundamentales para asegurar la calidad, coherencia y utilidad de la información recabada.

Figura 20. Etapas del procesamiento de datos



(Autoría propia)

3.7.1 Descarga y decodificación de datos

La primera etapa del procesamiento de datos incluyó actividades esenciales como la descarga de los archivos generados por los dispositivos de adquisición y la decodificación de los datos contenidos en dichos archivos.

Como primer paso, se descargan los archivos generados por cada equipo de adquisición de datos después de realizar la campaña experimental. En el caso del ELM327, el archivo generado es un CVS con los datos de operación del motor, este archivo viene decodificado automáticamente por Torque Pro, por lo tanto, no es necesario realizar un proceso de decodificación. Sin embargo, los archivos generados por CANedge son en formato MF4, véase **ANEXO 3**, los cuales deben ser decodificados mediante archivos DBC. Debido a que el CANedge no era compatible con el protocolo de comunicación de la motocicleta K-line, los datos generados son provenientes únicamente de los módulos GPS e INPUT. Por lo tanto, para la decodificación de los datos se requirió archivos DBC por cada

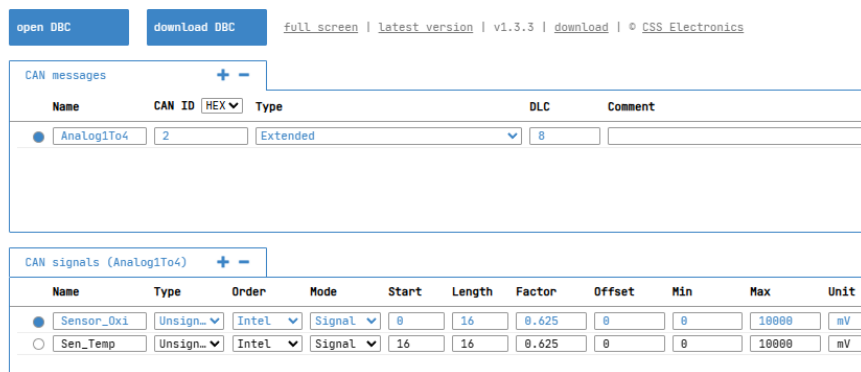


módulo utilizado, en este caso un archivo DBC para el CANmod.input y otro para el CANmod.gps.

El archivo DBC utilizado para CANmod.input fue editado con la ayuda de la herramienta de edición DBC Editor for CAN Bus Database Files de CSS Electronics (**Figura 21**). De acuerdo con la configuración realizada anteriormente para CANmod.input, se mantiene un solo canal activo del módulo para evitar generar archivos innecesarios de los canales que no están activos. Se mantiene únicamente el canal analógico 1-4 para la recepción de mensajes CAN. Dentro de este canal se seleccionan las señales que serán utilizadas para el análisis posterior, en este caso las señales del sensor de temperatura y oxígeno. Adicionalmente, ambas bases de datos fueron renombradas de forma adecuada para evitar posibles conflictos o errores durante las etapas de procesamiento y análisis de datos.

Figura 21. Editor de archivos DBC: Editor for CAN Bus Database Files

DBC Editor for CAN Bus Database Files



Tomado de: Coss Electronics, 2025

La carga, decodificación y exportación de los datos registrados, se hizo mediante el software Asammdf. Se cargó el archivo MF4, posteriormente en el apartado de Bus Logging se debe cargar los archivos DBC correspondientes. Como se muestra en la **Figura 22**, se subió el archivo DBC editado previamente y el archivo DBC proporcionado

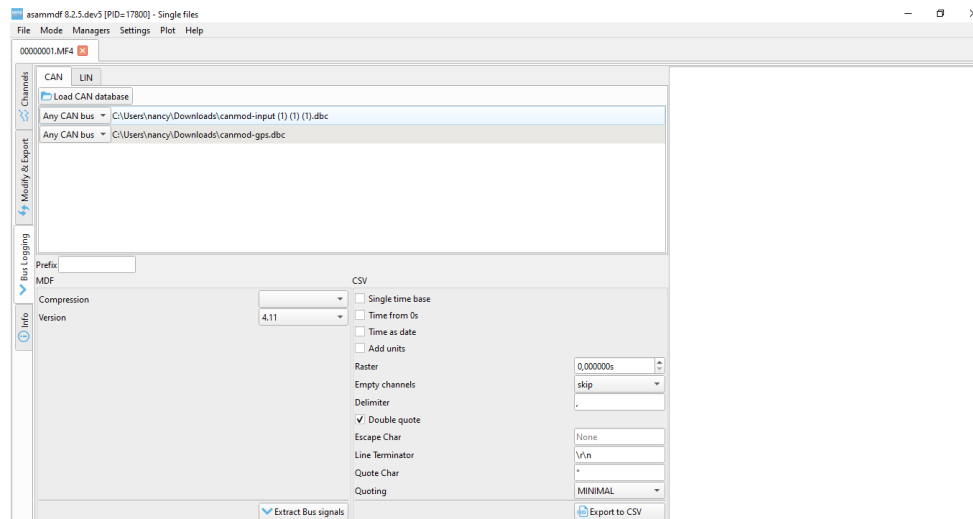


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



por el fabricante específicamente para la decodificación de datos del módulo GPS. Con los archivos necesarios cargados, se extraen los datos decodificados en formato MF4 o CVS.

Figura 22. Software Asammdf



3.7.2 Selección, Limpieza y Sincronización de datos

Con los datos registrados de los sensores y los datos de operación del motor en archivos CVS se realiza la selección, sincronización y la limpieza de datos con ayuda del software R (Figura 23). Para una mayor facilidad de manipulación de datos el proceso se realizó mediante el uso de data frames y extracción de variables.

Figura 23. Interfaz gráfica R studio



```

1 # Titulación de librerías
2 library(tidyverse)
3 library(data.table)
4
5 # Función limpieza y sincronización
6
7 #se crea dataframes con ambos archivos cvs obtenidos para extraer los datos necesarios
8 datosCarmod <- read.table("C:/Users/nancy/onedrive - universidad tecnica del Norte/TESIS/P101/
9
10 datosELM <- read.table("C:/Users/nancy/onedrive - universidad Tecnica del Norte/TESIS/P101/
11
12
13 Nombres <- 07
14
15 # ---- selección de datos ----
16
17
18 # Selección de datos ELM327
19
20 # Transformación de Mes (en letras) a Mes (número)
21
22 str_sub(datosELM$deviceTime, start = 4L, end = 6L) <- Nombres
23
24 # Transformación de tiempo en formato de fecha en otro frame
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

```

El proceso de selección de datos se realizó de manera manual, esto debido a que el ELM327 registro una serie de datos que no son relevantes para este proyecto de investigación. Así mismo se realizó una limpieza de datos que no eran coherentes o fueron grabados fuera del tiempo estimado para la campaña experimental. También se procuró que todos los datos exportados sean interpretados como valores numéricos y no como caracteres, que es como usualmente suelen exportarse. La **Figura 24** muestra un extracto del código creado para realizar todo este proceso.

Figura 24. Código de Selección, Limpieza y Sincronización de datos en R.



```

# Selección de variables útiles
datosMotor <- mutate(datosMotor, select(datosELM,
  `FuelFlowrate.hour.gal.hr.` ,
  `EngineRPM.rpm.`
))
# Renombramiento de variables y conversión a datos numéricos
datosMotor <- rename(datosMotor,
  Consumo.combustible=`Fuelflowrate.hour.gal.hr.` ,
  rpm=`EngineRPM.rpm.`
)
#datosMotor[4:14] <- lapply(select(datosMotor, AltitudOBD_m : ConsumoOBD_ccmin), as.numeric)
# Selección de datos CANedge2
# Transformación de tiempo en formato y fecha en otro dataframe
datosSENSORES <- transmute(
  datosCarmod,
  FechaHora = as.POSIXct(substr(timestamps, 1, 23), format = "%Y-%m-%d %H:%M:%OS")
)
# Selección de variables útiles
datosSENSORES <- bind_cols(
  datosSENSORES,
  select(datosCarmod, Sensor_Oxi, Sen_Temp)
)
# Renombramiento de variables y conversión a datos numéricos
datosSENSORES <- rename(datosSENSORES,
  OXIGENO = Sensor_Oxi,
  TEMPERATURA = Sen_Temp
)

```

Para la sincronización, se optó por utilizar los valores de fecha y hora registradas por cada equipo. Se concluyó que esta estrategia permite alinear cronológicamente los datos sin necesidad de introducir elementos externos o manipulaciones adicionales que puedan afectar la integridad de los registros. Además, dado que ambos dispositivos cuentan con la misma referencia de tiempo global, el CANedge por su configuración RTC y el ELM327 por la hora actualizada de la red del celular al que estaba conectado. Para este proceso, primero se tuvo que transformar estos valores a formatos de tiempo que R studio podría interpretar. Se mantuvo una precisión de milisegundos en la sincronización de datos, con el objetivo de asegurar un emparejamiento exacto entre los registros de ambos dispositivos.

3.7.2.1 Validación de sincronización

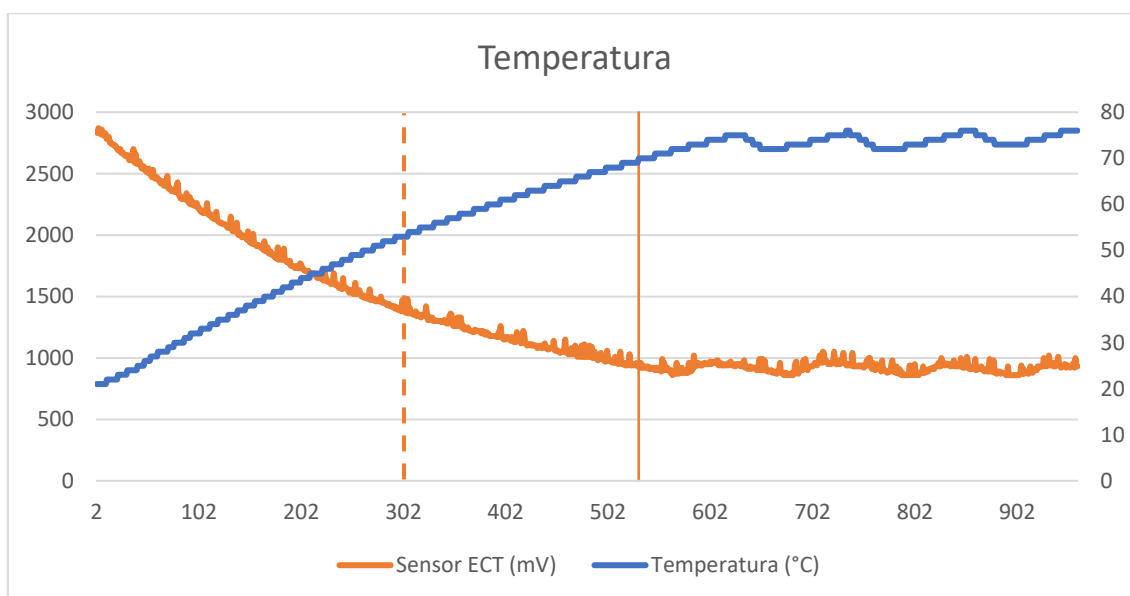
Para validar que la sincronización de datos haya sido exitosa fue necesario hacer una comparativa de dos datos obtenidos por diferentes equipos, y a su vez datos que tengan una relación entre sí. En este caso, se optó por comprar gráficamente los datos obtenidos



por el CANmod.input de temperatura, del sensor ECT en mV y los datos en °C por el ELM327.

La **Figura 25** muestra la variación de la temperatura del refrigerante del motor durante la campaña experimental. La gráfica permitió comparar las tendencias de variación de temperatura medidos por dos dispositivos distintos y visualizar si los datos de medición física se asemejan entre sí. La relación entre estas curvas debería ser contrarias, precisamente como se observa en la gráfica. La tendencia registrada por el sensor ECT es disminuir las señales de mV mientras la temperatura del motor aumenta, por otro lado, los valores de temperatura en °C van a ir en incremento. A pesar de que las tendencias son inversamente proporcionales, se evidenció que la sincronización de datos fue correcta. Esto, debido a que los picos en la curva de temperatura en °C tienen sus picos correspondientes en la curva de temperatura equivalente a mV.

Figura 25. Variación de temperatura del refrigerante del motor durante el arranque en frío.



(Autoría propia)



3.7.2.2 Limpieza de datos

La limpieza de datos consistió en una inspección visual con la ayuda de Excel donde se pudo observar datos erróneos o corruptos. Estos datos pueden ser resultado de errores de medición propios de los sensores o incluso de los equipos de medición, puesto que estos empiezan a registrar datos desde el momento en el que se coloca el switch en contacto.

Para determinar el inicio de los datos válidos, se tomó como referencia las revoluciones del motor (RPM), ya que estos solo se registran desde el momento en que se da el primer arranque al motor. Los datos de temperatura de refrigerante, sensor de oxígeno y consumo no funcionan precisamente como buena referencia de inicio de datos válidos ya que los datos son registrados desde el momento en que se conecta los sensores a los módulos registradores de datos, estos empiezan el registro incluso cuando la motocicleta esta apagada, mas no desde el arranque, que es la referencia requerida para el inicio de registro de datos válidos para este proyecto de investigación.

Para confirmar que la limpieza de datos se realizó de manera correcta se hizo una inspección general de rango de valores mínimo, máximo y de los datos registrados durante la prueba inicial. Esto facilita la determinación de si los datos registrados se encuentran dentro de un rango lógico de valores del funcionamiento del motor. Se observó que los valores máximos y mínimos del sensor de temperatura se encuentra en un rango típico de funcionamiento de un sensor de temperatura NTC; al igual que el sensor de oxígeno, donde se observa que la sonda lambda trabaja en un promedio de 1,1 V, lo cual es bastante común en motores de combustión interna, especialmente durante momentos de arranque en frío.

3.7.2.3 Cálculo del consumo total

En el caso del consumo total de combustible durante el ensayo realizado, se debe transformar la tasa de consumo registrado en gal/h, a gal/s. Una vez realizada la conversión, se realiza la suma total de todos los datos registrados durante la fase de arranque en frío y/o la fase de condiciones normales. Se obtiene como resultado el total



de galones de combustible consumido durante el periodo de tiempo que duró la fase correspondiente. Este proceso se realiza a partir de la **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{gal}/h_i}{3600} \right) \times 1s \quad \text{Ecuación 1. Formula del cálculo de consumo total de combustible}$$

3.7.3 Cálculo potencia específica del vehículo (VSP)

La potencia específica del vehículo o VSP (Vehicle Specific Power) representa la potencia instantánea entregada por el motor para cambiar las energías cinéticas y potenciales del vehículo para superar la resistencia a la rodadura y la resistencia aerodinámica. Se representa en W/Kg y para su cálculo se hace uso de la **Ecuación 2**.

Ecuación 2. Potencia específica del vehículo.

$$VSP = v * (a * (1 + \varepsilon_i) + g * \alpha + g * Cr) + \frac{1}{2} \rho * v^3 \left(\frac{Cd * A}{m} \right)$$

Donde:

v: velocidad del vehículo. (m/s)

a: aceleración del vehículo. (m/s²)

ε_i : factor de masa. (adimensional)

α : pendiente

g: gravedad (9,8 m/s²)

Cr: coeficiente de resistencia a la rodadura(adimensional).

Cd: coeficiente aerodinámico (adimensional).

A: área frontal del vehículo. (m²)

ρ : densidad del aire (kg/m³)



m: masa del vehículo. (kg)

Algunos parámetros necesarios para el desarrollo del presente estudio, como el área frontal, el coeficiente de resistencia a la rodadura y el coeficiente aerodinámico, fueron tomados de trabajos de investigación previos [35], realizado en una motocicleta y bajo condiciones de ensayo similares, con el fin de garantizar la coherencia y validez de los resultados obtenidos. La tabla muestra los coeficientes requeridos para el respectivo cálculo y análisis del VSP.

Tabla 12. Coeficientes motocicleta

Parámetro	Unidad	Valor
Masa	Kg	424
Área frontal	m ²	0.5838
Densidad del aire	Kg/m ³	1.207
Coeficiente resistencia a la rodadura	Adimensional	0.032
Coeficiente aerodinámico	Adimensional	0.75



CAPITULO IV

4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el siguiente capítulo se detallan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en la moto Benelli TNT25. En la primera parte se detalla los datos obtenidos de la prueba a revoluciones mínimas (ralentí). La siguiente prueba que se realizó, es el ensayo en ruta en condiciones reales, con el fin de comparar el comportamiento de la motocicleta a mínimas revoluciones versus el comportamiento de este en ruta. Para esto fue necesario la creación de una ruta que cumpla con todas las variables mencionadas en el capítulo anterior.

Se utilizó un termómetro para obtener la temperatura (°C) en el momento en que se realiza la toma de datos durante la campaña experimental. Este valor se toma como referencia debido a su posible influencia en los resultados obtenidos durante las pruebas.

4.1 Ensayo en ralentí

Para poder realizar un análisis más a fondo de los resultados obtenidos de la campaña experimental, se optó analizar cada prueba en 2 diferentes fases, arranque en frío y condiciones normales de operación.

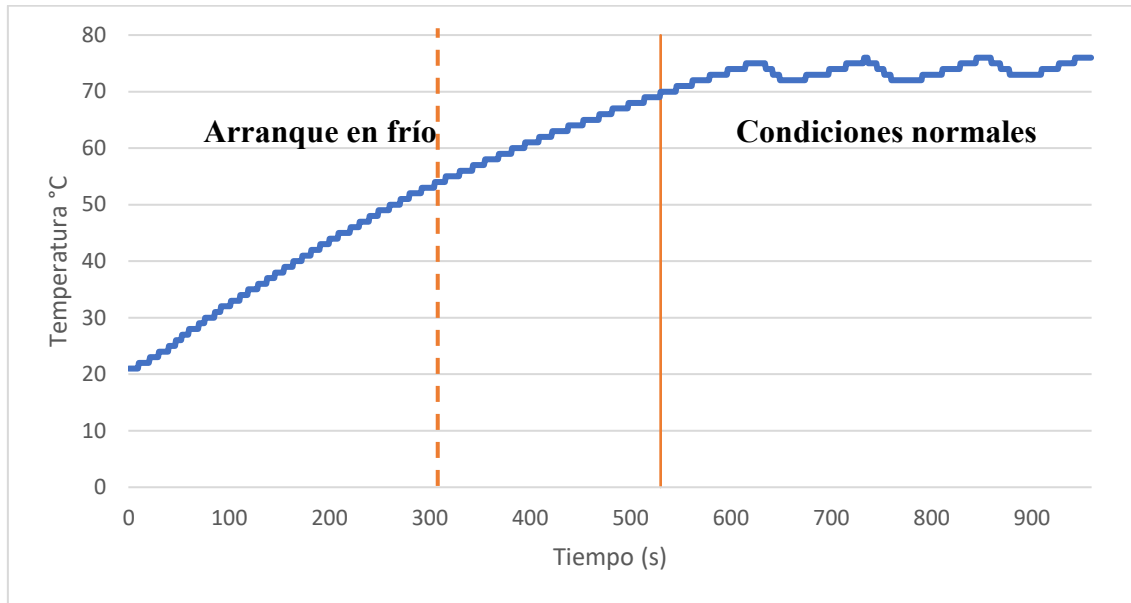
Como se muestra en la **Figura 26**, se ha caracterizado la variación de la temperatura en sus dos fases. La primera fase corresponde al arranque en frío, que cuenta los momentos posteriores en el cual se enciende el motor, esta fase abarca todo el tiempo que transcurre hasta que el motor llegue a la temperatura establecida donde se especifica que termina el arranque en frío, 70 °C. La segunda fase corresponde a los minutos posteriores de que el motor haya llegado a la temperatura especificada.

De igual forma, ambas fases descritas se encuentran delimitadas por una línea continua de color tomate que divide el gráfico correspondiente a cada variable, la cual indica el punto en el que finaliza el arranque en frío (70°C). Además, se observa también una línea segmentada en los gráficos, que representa los primeros 5 minutos del ensayo, los cuales,



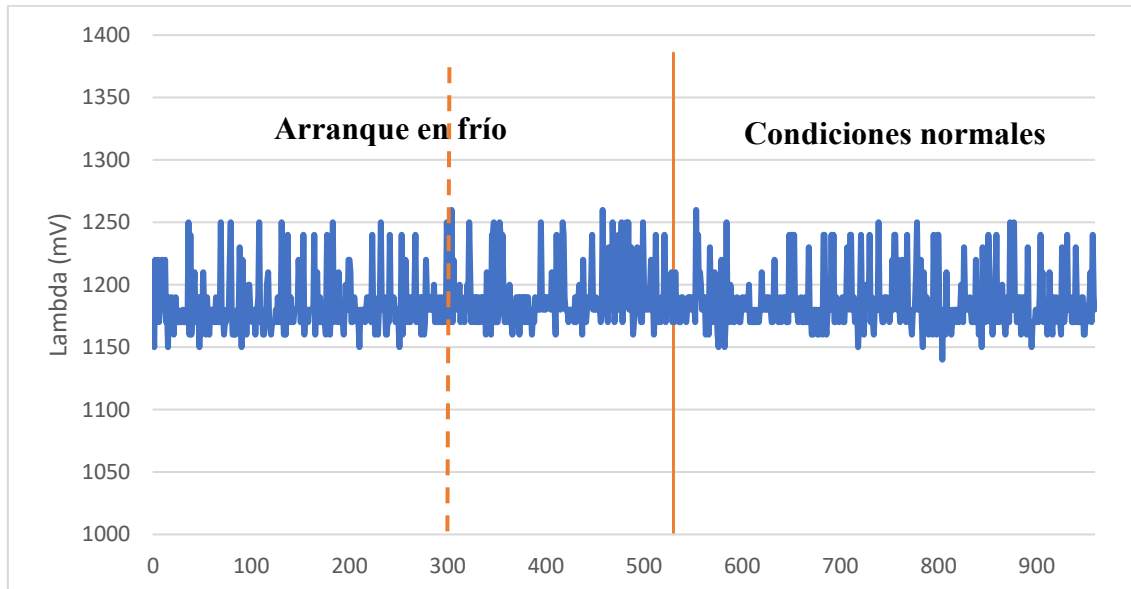
según la normativa, pueden tomarse como referencia para determinar el fin del arranque en frío.

Figura 26. Variación temperatura-Ensayo en Ralentí



(Autoría propia)

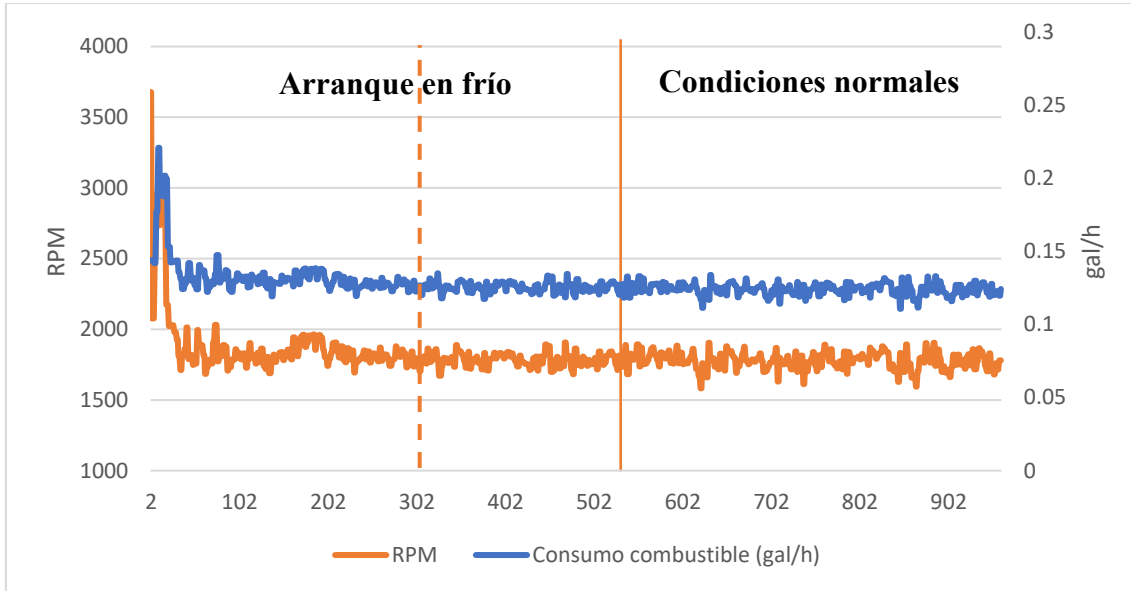
Figura 27. Variación de la sonda lambda- Ensayo Ralentí





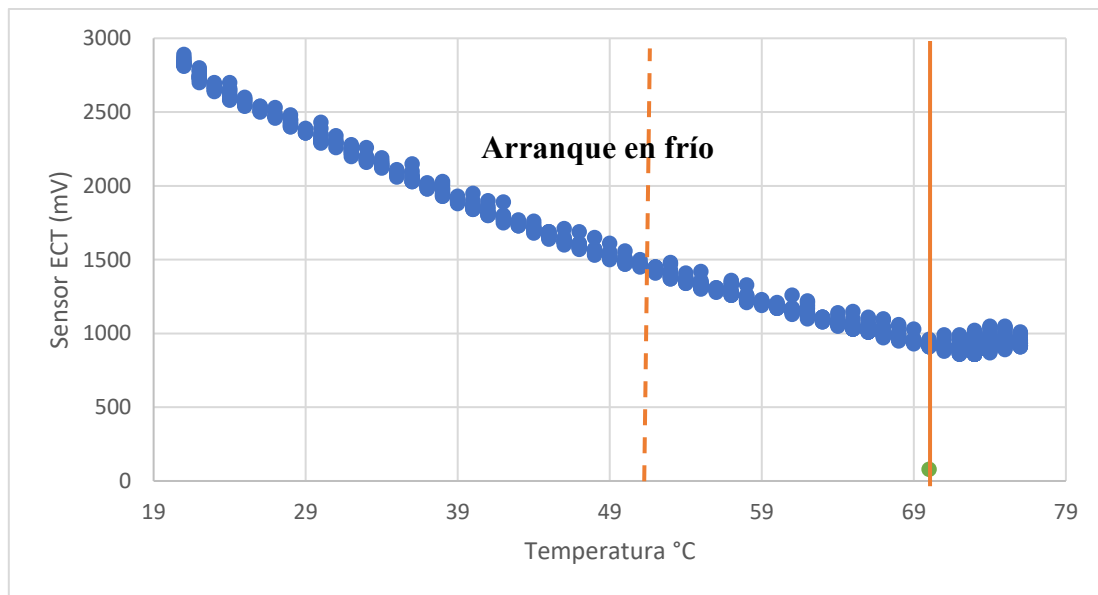
(Autoría propia)

Figura 28. Variación RPM vs Consumo Combustible- Ensayo Ralenti



(Autoría propia)

Figura 29. Temperatura °C vs Temperatura mV



(Autoría propia)



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Los rangos de valores y variaciones obtenidos en cada variable, en su mayoría, corresponden a los valores típicos de funcionamiento de un motor a combustión interna en este modo de operación en específico. La **Tabla 13** muestra con más detalle los resultados obtenidos durante este ensayo.

Tabla 13. Resultados Ensayo en Ralentí

		Arranque en frío			Condiciones normales		
		MIN	PROM	MAX	MIN	PROM	MAX
Sensor Temperatura	mV	930	1641,35 (4,5 DE)	2890	860	921,9 (14 DE)	1050
Temperatura	°C	21	47,99 (4,9 DE)	70	70	73,4 (4,4 DE)	76
Sensor Oxígeno	mV	1150	1185,39 (0,1 DE)	1260	1140	1183 (0,8 DE)	1260
RPM	RPM	1671	1844,01 (14,8 DE)	3678	1582,5	1778 (12 DE)	1904,5
Consumo	gal/h	0,1175	0,1302 (0,0001 DE)	0,2210	0,11076	0,12432 (0,0003 DE)	0,13394
Consumo Total	gal		0,01925			0,01450	
Tiempo Total	s		531			369	

(Autoría propia)

4.1.1 Temperatura - Ensayo en ralentí

El desarrollo de la primera fase de este ensayo corresponde a las características que presentan todas las variables medidas durante el arranque en frío. Es decir, hasta que el motor alcance una temperatura de 70°C.

Como se muestra en la **Figura 26**, la tendencia que tiene la temperatura del motor es ascendente durante la primera fase, que cubre un total de 531 segundos o 8.86 minutos desde el arranque del motor.

Así mismo, se observa en el eje “y” los valores en milivoltios que corresponden a las señales que emite el sensor ECT las cuales tiene una tendencia de disminución en función del tiempo y temperatura. Por otro lado, los datos equivalentes en grados centígrados se



ubicar en el eje x. Esta relación permite no solo verificar que los datos registrados por el módulo CANmod.input y el ELM327 son correctos, si no que ambas señales generan una dependencia entre sí y así mismo, el comportamiento de estas señales son precisamente las que se espera para este tipo de sensores, puesto que este sensor es de tipo NTC (coeficiente de temperatura negativo).

La variación de la temperatura después de que el motor haya terminado el tiempo de arranque en frío se mantiene constante dentro de un rango específico. Se observa que a partir de este punto la temperatura se mantiene sobre los 70 °C y fluctúa hasta los 76°C en su punto más alto (**Tabla 13**). Estas variaciones se mantienen constantes y coinciden con la activación del electroventilador lo que hace que la temperatura se mantenga oscilando dentro de este rango de temperatura. Este es un comportamiento típico de un motor durante su funcionamiento en revoluciones mínimas.

4.1.2 RPM y consumo de combustible – Ensayo en ralentí.

Durante la primera fase los valores de consumo y rpm son los más altos registrados en la prueba. Como se observa en la **Figura 28**, los picos más altos ocurren durante los primeros segundos de haber arrancado el motor. Esto se debe a que, en frío, el sistema de control incrementa la inyección de combustible y la velocidad del motor para estabilizar su funcionamiento.

A medida que transcurren los segundos, ambos parámetros tienden a estabilizarse: las RPM descienden progresivamente hasta alcanzar un régimen de ralentí, y el consumo de combustible disminuye conforme el motor se calienta. Esta tendencia es consistente con el comportamiento esperado en condiciones de arranque en frío, donde inicialmente se requiere mayor energía para mantener el motor en funcionamiento hasta alcanzar la temperatura de operación.

A su vez, en el desarrollo de la segunda fase se observa principalmente que los valores de consumo de combustible son relativamente menores. Esto como respuesta a que el motor se empieza a estabilizar, no existen variaciones muy grandes de RPM.



4.1.3 Sensor de oxígeno – Ensayo en ralentí.

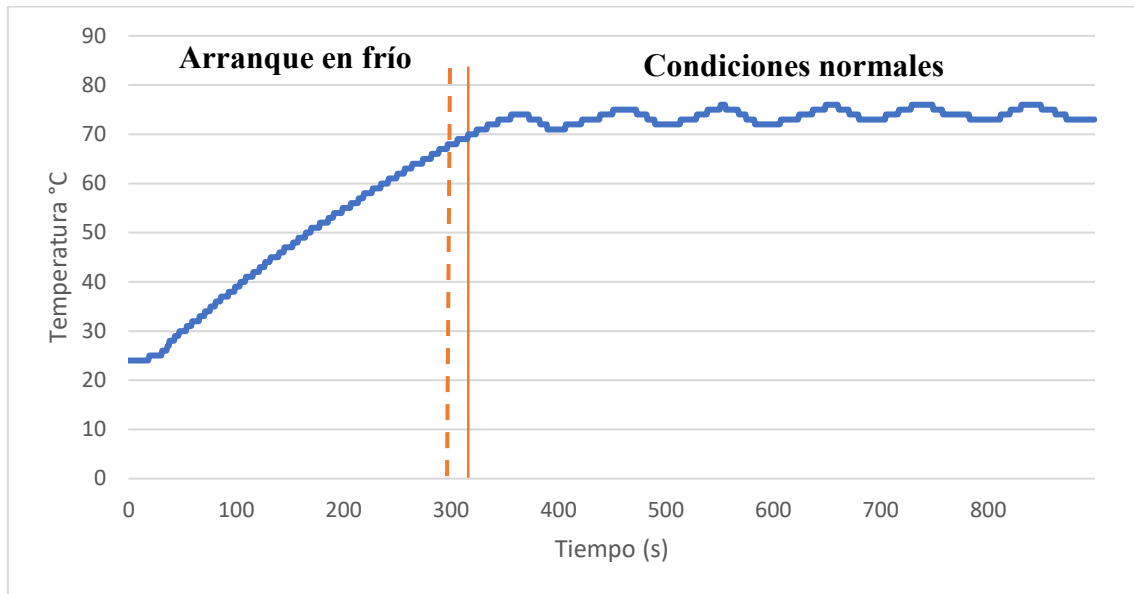
Como se observa en la **Figura 27** durante la primera fase, la motocicleta se encuentra trabajando en todo momento en una mezcla rica. Si bien son valores típicamente altos para este tipo de sensores, se debe considerar que es el comportamiento registrado durante los primeros momentos del arranque en frío donde el sistema inyecta un exceso de combustible con el fin de garantizar la estabilidad de la combustión y compensar la baja temperatura del motor. Este enriquecimiento inicial, aunque necesario, incrementa el consumo de combustible y las emisiones, pero constituye una estrategia habitual de las ECU para lograr que el motor alcance rápidamente la temperatura óptima de operación y permita, en fases posteriores, un control más eficiente de la mezcla aire-combustible.

De igual forma, los valores de la sonda lambda reflejadas en la segunda fase de este ensayo se mantienen dentro del mismo rango presentado en la fase 1, con pequeñas variaciones no muy significativas. Como se observa en la **Figura 27**, el motor se encuentra trabajando en todo momento con una mezcla rica de aire-combustible.

4.2 Ensayo de aceleración libre

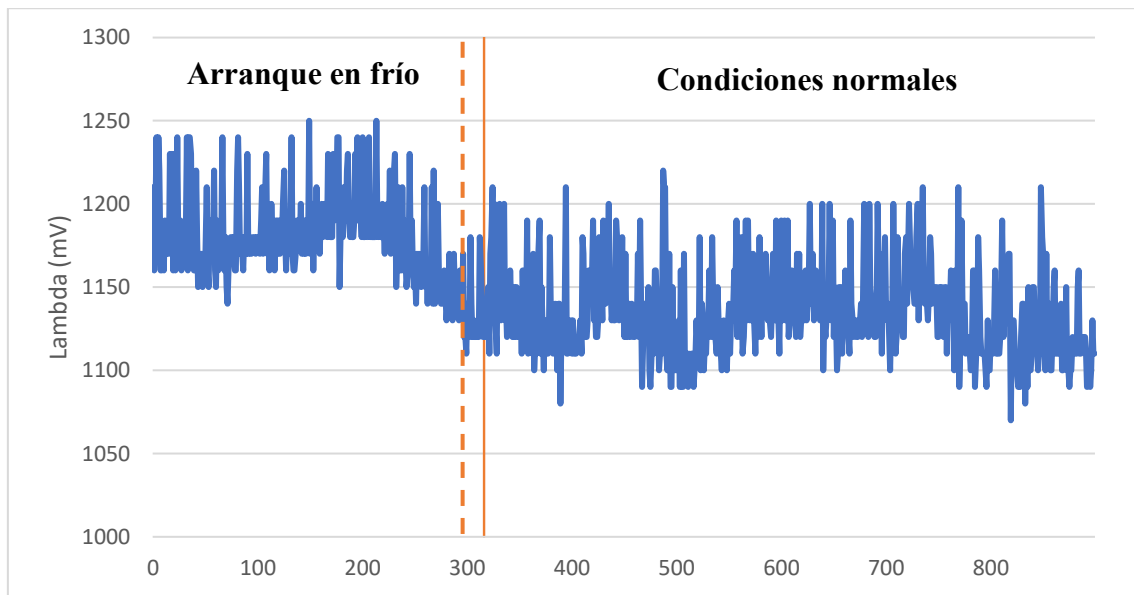
La **Figura 30** muestra el comportamiento de las diferentes variables durante el ensayo de aceleración. Este ensayo contó con la misma duración que el ensayo en ralentí que fue de 15 minutos desde el momento del arranque.

Figura 30. Variación temperatura-Ensayo aceleración libre



(Autoría propia)

Figura 31. Variación sensor lambda-Ensayo aceleración libre



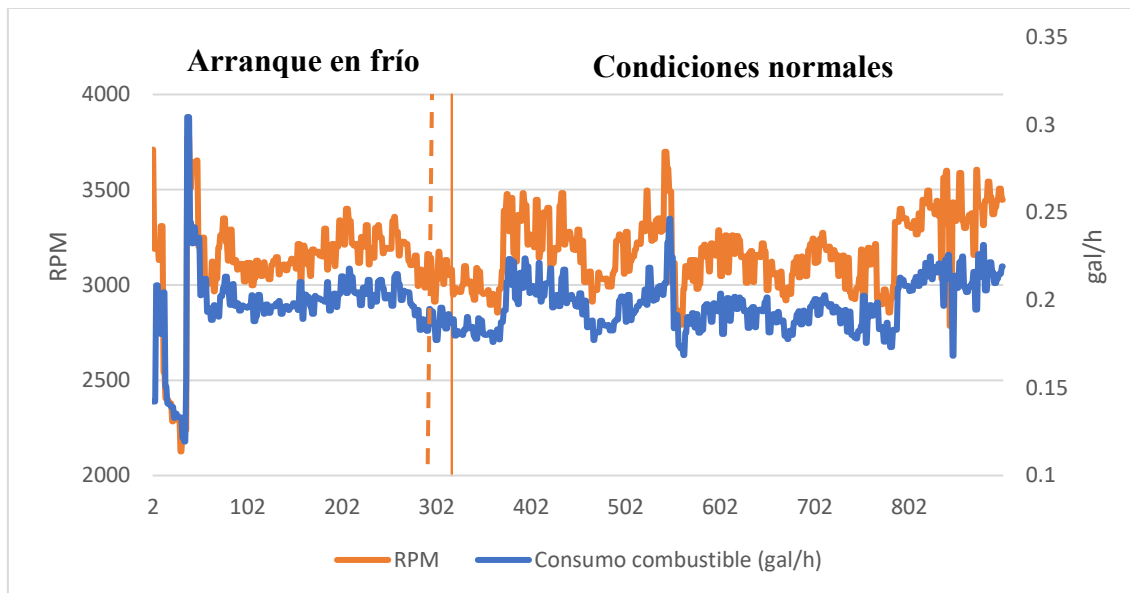
(Autoría propia)



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Figura 32. Variación RPM vs Consumo combustible-Ensayo aceleración libre



(Autoría propia)

La **Tabla 14** muestra todo el rango de valores de las variables estudiadas en el que el sistema de la motocicleta trabajo durante las pruebas de aceleración.

Tabla 14. Resultados Ensayo en aceleración libre

		Arranque en frío			Condiciones normales		
		MIN	PROM	MAX	MIN	PROM	MAX
Sensor Temperatura	mV	890	1531,60 (2,4 DE)	2710	840	927,14 (0,15 DE)	1080
Temperatura	°C	24	47,3 (2,1 DE)	70	70	77 (0,5 DE)	76
Sensor Oxígeno	mV	1110	1178,23 (6,29 DE)	1250	1070	1134,6 (5,34 DE)	1220
RPM	RPM	2126,5	3108,18 (14,5 DE)	3774	2785,5	3179 (24 DE)	3698
Consumo	gal/h	0,1193	0,1959 (0,057 DE)	0,3045	0,16830	0,19726 (0,061 DE)	0,24655
Consumo Total	gal		0,01730			0,03194	
Tiempo Total	s		325			575	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



(Autoría propia)

4.2.1 Temperatura del motor - Ensayo en aceleración libre

La fase 1 correspondiente a la **Figura 30** muestra el momento transcurrido desde el momento del arranque hasta el momento donde el motor alcance una temperatura de 70°C. En el presente ensayo se observó que el tiempo transcurrido para que el motor llegue a la temperatura establecida fue de 325 segundos.

La temperatura sigue manteniendo el comportamiento esperado, a diferencia que este empieza a aumentar de manera más apresurada debido a las revoluciones altas en las que se mantiene el motor durante esta prueba. La **Figura 30** muestra que la curva de temperatura mantiene la misma tendencia que en pruebas anteriores.

La fase dos de esta prueba corresponde al tiempo que transcurrió luego de que el motor alcanzara los 70°C, en este caso fue un total de 575 segundos. Este tiempo tomado a partir de que el tiempo total de la prueba fue de 15 minutos. La temperatura máxima reflejada en la **Figura 30** es de 76°C. se debe tomar en consideración que el motor no presenta ninguna carga extra y, además, el accionamiento de electroventilador no permite que la temperatura aumente de manera pronunciada.

4.2.2 Sensor oxígeno – Ensayo en aceleración libre

Durante la fase inicial, los valores de voltaje del sensor lambda se mantienen elevados teniendo picos de hasta alrededor de 1250 mV (**Tabla 14**), lo que corresponde a una mezcla rica en combustible. Esto es típico de los primeros instantes de la aceleración libre, cuando la ECU enriquece la mezcla para favorecer la combustión y la respuesta del motor.

Los valores de lambda obtenidos se mantienen consistentes durante la primera fase del ensayo (**Figura 31**), con variaciones menores que en pruebas anteriores.

A diferencia del ensayo en ralentí, las señales de la sonda lambda van cayendo a medida que el motor aumenta su temperatura. Durante el desarrollo de la segunda fase de este ensayo, se nota una caída de señal bastante pronunciada de la señal del sensor de oxígeno



después de alcanzar los 70°C. Este comportamiento indica que el motor empieza a trabajar en condiciones más estables, en donde la mezcla aire-combustible tiende a acercarse al valor estequiométrico ($\lambda \approx 1$).

Sin embargo, en la fase 2, al estabilizarse la temperatura y continuar el ensayo, la tendencia del voltaje es a disminuir y mantenerse dentro de un rango más bajo y con menor variabilidad (entre 1100–1150 mV). Esta caída refleja que la ECU ya no necesita enriquecer tanto la mezcla, reduciendo el exceso de combustible inyectado, el sistema entra en un modo de control más eficiente, donde se busca un equilibrio entre rendimiento y reducción de emisiones contaminantes.

4.2.3 RPM y Consumo de combustible – Ensayo en aceleración libre

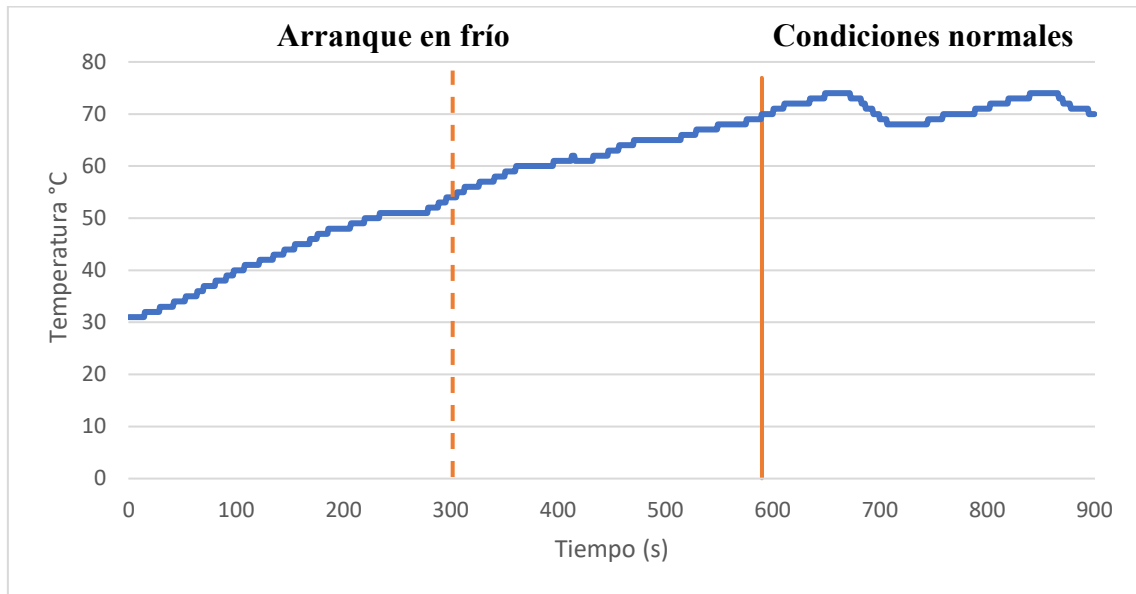
La relación de ambas variables se mantiene dependiente, es decir, el consumo de combustible aumenta o disminuye a medida que las revoluciones del motor aumenten o disminuyan. Se observa que las revoluciones se mantienen en el rango establecido para la prueba, entre 3000 a 3900 rpm (**Figura 32**).

Se observa que durante el desarrollo de la fase 2 del ensayo, el rango del consumo de gal/h disminuye, esto debido a que el motor se encuentra en una temperatura óptima de trabajo y el sistema no requiere enviar combustible extra como en la fase 1. La **Figura 32** muestra que la relación de estas dos variables se mantiene en todo momento.

4.3 Ensayo en condiciones reales

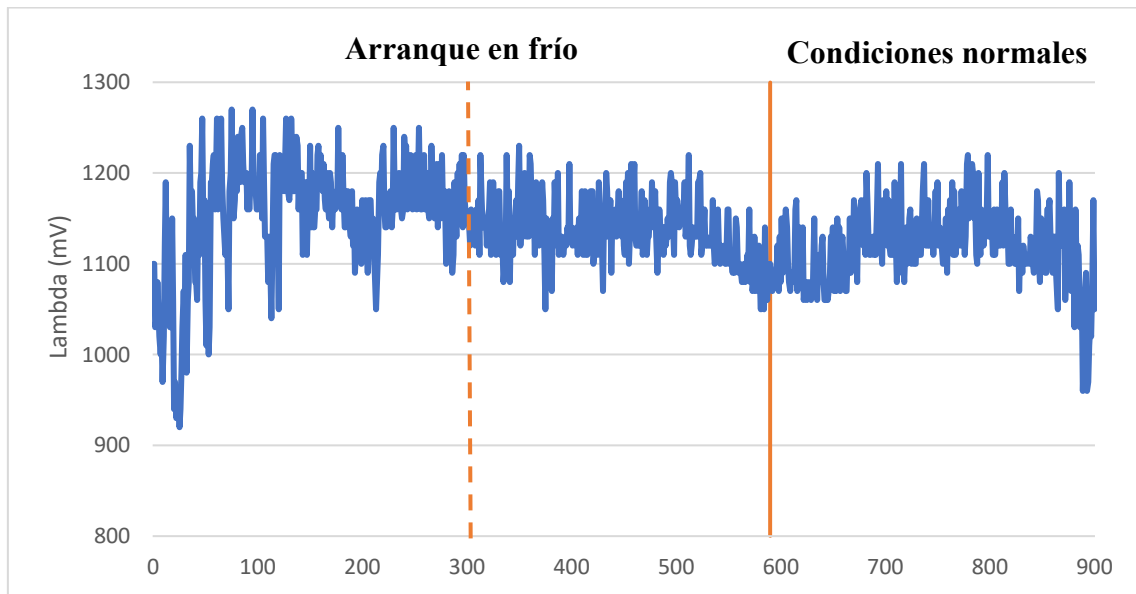
Se toma en cuenta los datos registrados en los primeros 15 minutos después al arranque de la motocicleta, esta corresponde al inicio de la ruta urbana. Al igual que en los ensayos previos, se analiza el comportamiento de las variables antes y después del arranque en frío.

Figura 33. Variación Temperatura-Ensayo en condiciones reales.



(Autoría propia)

Figura 34. Variación sensor lambda-Ensayo en condiciones reales



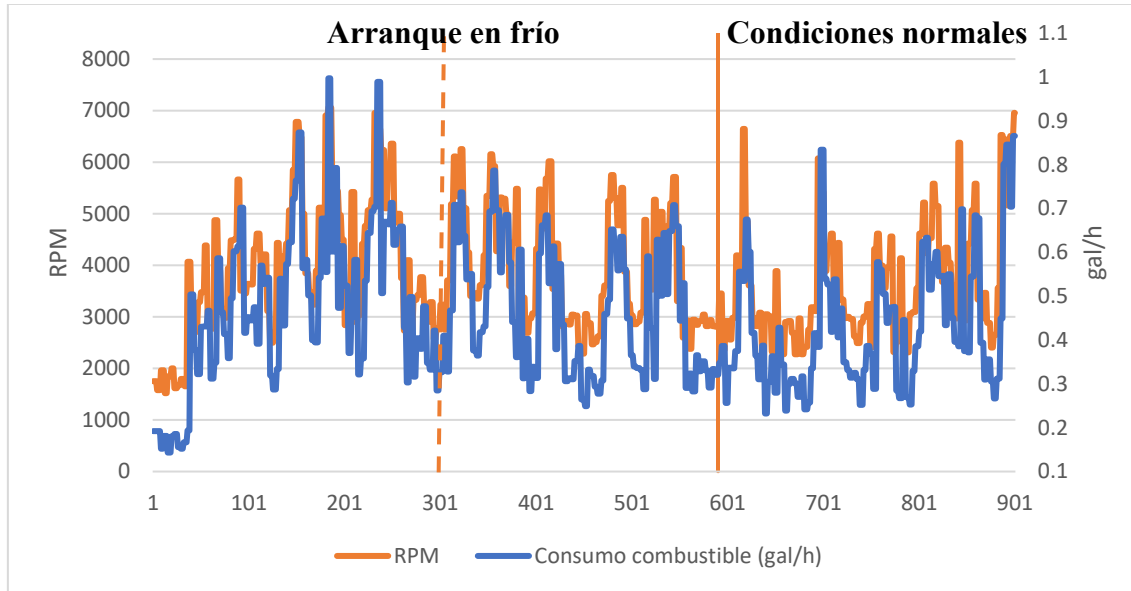
(Autoría propia)



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Figura 35. Variación RPM vs Consumo combustible-Ensayo en condiciones reales



(Autoría propia)

Tabla 15. Resultados ensayo en condiciones reales

		Arranque en frío			Condiciones normales		
		MIN	MAX	PROM	MIN	MAX	PROM
Sensor Temperatura	mV	930	2530	1555,7 (54,6 DE)	890	1180	1014,6 (36,5 DE)
Temperatura	°C	31	70	52,7 (2,3 DE)	68	74	70,1 (1,1 DE)
Sensor Oxígeno	mV	920	1270	1145,1 (45 DE)	960	1220	1118,5 (49 DE)
RPM	RPM	1520	7058,5	3935,3 (34 DE)	2145	6956,5	3659,1 (173 DE)
Consumo	gal/h	0,14330	0,99735	0,46715 (0,013 DE)	0,23277	0,86566	0,4 (0,017 DE)
Consumo Total	gal		0,076689866		0,036870703		
			0,11356				
Tiempo Total	s		590		310		



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



(Autoría propia)

4.3.1 Temperatura-Ensayo en condiciones reales

La primera fase donde se desarrolla el arranque en frío, tiende a alargarse hasta los 590 segundos (**Tabla 15**). Si bien el comportamiento se mantiene ascendente como en ensayos anteriores, destaca que a pesar de que la motocicleta este sometido a una carga extra, el motor tarda en llegar a la temperatura establecida incluso más tiempo que en el ensayo en aceleración libre (**Figura 33**).

Factores como el mismo movimiento de la motocicleta, hacen que el aire actúe como un instrumento de refrigeración del motor, esto influye directamente al tiempo de calentamiento del motor. Así mismo, durante el ensayo en ruta, las variaciones de aceleración y velocidad hacen que el motor no trabaje en un régimen alto sostenido, sino que tiene momentos de baja carga (tránsito, cambios de marcha, desaceleraciones). Eso ralentiza el aumento de temperatura.

4.3.2 Sensor de oxígeno-Ensayo en condiciones reales

La **Figura 34** muestra la evolución de la señal de la sonda lambda durante el proceso de arranque en frío y posterior estabilización del motor. En la primera parte, antes de la línea naranja, el motor se encuentra aún frío, por lo que la unidad de control electrónico (ECU) enriquece la mezcla aire-combustible para garantizar la estabilidad de la combustión. Este comportamiento se refleja en valores elevados de voltaje, alrededor de 920 a 1270 mV, acompañados de fluctuaciones notorias que evidencian la inestabilidad propia de los primeros minutos de funcionamiento.

Una vez que el motor llega a los 70 °C, señalado por la línea naranja, se da por concluido el arranque en frío y comienza una segunda etapa caracterizada por una mayor estabilidad en la señal. A partir de este punto, la ECU pasa a trabajar en lazo cerrado, utilizando la retroalimentación del sensor lambda para ajustar la mezcla aire-combustible de forma más precisa. Como resultado, los valores de voltaje tienden a estabilizarse, con



oscilaciones menos pronunciadas, lo que indica que la combustión se desarrolla en condiciones más eficientes y con emisiones más controladas.

4.3.3 RPM vs Consumo combustible-Ensayo en condiciones reales

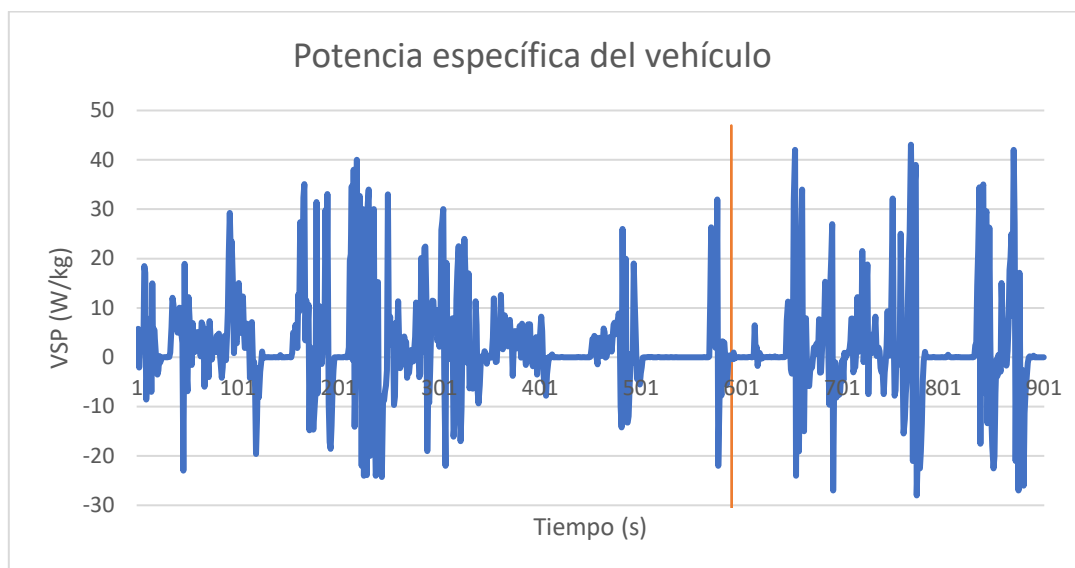
La **Figura 35** muestra la evolución conjunta del régimen de giro del y el consumo de combustible instantáneo. Durante la primera fase, se observa una mayor variabilidad en ambos parámetros, con picos de consumo más frecuentes y pronunciados. Esto se debe a que la ECU enriquece la mezcla aire-combustible para compensar la baja temperatura, garantizando estabilidad de la combustión. Por esta razón, para un mismo régimen de giro el consumo instantáneo tiende a ser más alto que cuando el motor ya ha alcanzado su temperatura de operación. Los picos de consumo suelen coincidir con incrementos bruscos de RPM propios de aceleraciones, aunque en algunos casos se observan aumentos de consumo sin un ascenso proporcional en el régimen. Esto ocurre por estrategias de la gestión electrónica, como enriquecimientos transitorios o correcciones asociadas a la temperatura y al control de emisiones, lo que demuestra que la relación entre RPM y consumo no es estrictamente lineal durante esta fase.

Una vez alcanzados los 70 °C, el patrón cambia: la ECU tiende a ajustar la mezcla con mayor precisión. En consecuencia, el consumo promedio disminuye y la correlación con las RPM se vuelve más directa: a mayor régimen, mayor consumo, pero con menos enriquecimiento extra y con oscilaciones más suaves. Esto evidencia que el motor ya opera en condiciones de mayor eficiencia y con emisiones más controladas.

4.4 Consumo en función de la potencia específica del vehículo (VSP)

Como se muestra en la **Figura 36**, los valores del VSP varían en un rango de 40 W/kg y -25 W/kg a lo largo del inicio de la ruta urbana. Estos datos sirven de base para el cálculo del consumo de combustible en función del VSP.

Figura 36. Potencia específica del vehículo



(Autoría propia)

La **Figura 37** y la **Tabla 16** presentan el consumo promedio instantáneo de combustible (gal/s) clasificado por intervalos de Potencia Específica del Vehículo (W/kg), tanto durante el arranque en frío como en condiciones de operación normales.

En términos generales, se observa que en la mayoría de los intervalos de VSP el consumo promedio por unidad de tiempo es mayor durante el arranque en frío. Este comportamiento es coherente con los procesos físico-químicos propios del motor en frío: mayor fricción interna, mezcla más rica para asegurar estabilidad de combustión y menor eficiencia térmica. Así, incluso cuando la demanda de potencia es la misma, el motor requiere un suministro adicional de combustible para sostener el mismo nivel de operación antes de alcanzar su temperatura óptima.

Los rangos de VSP no representan condiciones aisladas, sino estados dinámicos derivados del perfil de conducción. En los intervalos más altos, los valores elevados de consumo instantáneo se explican por la mayor carga sobre el motor como son aceleraciones (fuertes o moderadas) o el trabajo contra gradientes de pendiente positivos. En estos estados, el motor opera con mayor demanda de torque, por lo que el flujo de combustible aumenta



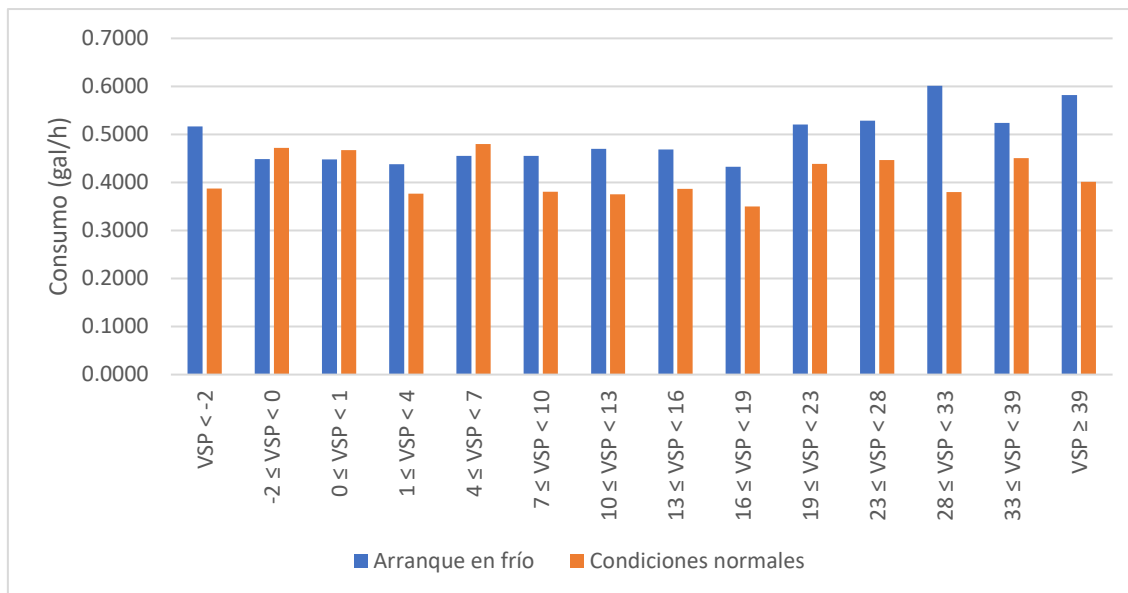
proporcionalmente, y en arranque en frío este incremento es aún más pronunciado debido a la mezcla enriquecida que la ECU mantiene hasta alcanzar un régimen térmico estable. Esto explica que, en el rango más crítico registrado, el arranque en frío llegue a presentar hasta un 42 % más consumo respecto a la condición normal.

En contraste, los rangos bajos representan principalmente fases de desaceleración, freno motor y rodaje con mínima carga. En estas zonas, la ECU puede reducir significativamente la inyección. Debido a ello, los consumos promedio son naturalmente bajos y con poca variabilidad entre ambas condiciones de operación.

En resumen, estos datos presentados de VSP permite identificar dos tendencias fundamentales, el arranque en frío incrementa de manera consistente el consumo instantáneo en prácticamente todos los rangos asociados a demanda de potencia, debido al enriquecimiento de mezcla y a la mayor fricción interna y los rangos de VSP más altos exhiben consumos promedios mayores principalmente por razones de mayor carga, más inyección por evento y mayores requerimientos de torque, mientras que los rangos bajos muestran diferencias menores debido a que corresponden a fases de baja o nula carga donde la ECU regula agresivamente el suministro de combustible. Este análisis confirma que, independientemente del tiempo que el vehículo pase en cada estado, el comportamiento instantáneo del motor en condiciones frías es menos eficiente y demanda más combustible para producir el mismo nivel de potencia que en condiciones normales.



Figura 37. Consumo en función del VSP



(Autoría propia)

Tabla 16. Consumo instantáneo en función de VSP

Rango de uso de energía	VSP	Modo VSP (W/kg)	Consumo instantáneo promedio (gal/h)		Promedio
			Arranque en frío	Condiciones normales	
Desaceleración	$VSP < 0$	$VSP < -2$	0.5167	0.3876	0.4664
		$-2 \leq VSP < 0$	0.4486	0.4723	0.4568
Ocioso	$0 \leq VSP < 1$	$0 \leq VSP < 1$	0.4481	0.4674	0.4556
Uso normal de baja potencia	$1 \leq VSP < 10$	$1 \leq VSP < 4$	0.4378	0.3770	0.4209
		$4 \leq VSP < 7$	0.4553	0.4797	0.4588
		$7 \leq VSP < 10$	0.4551	0.3806	0.4274
Uso normal de alta potencia	$10 \leq VSP < 19$	$10 \leq VSP < 13$	0.4702	0.3751	0.4583
		$13 \leq VSP < 16$	0.4690	0.3865	0.4360
		$16 \leq VSP < 19$	0.4324	0.3500	0.4024
Potencia ultra alta	$VSP \geq 19$	$19 \leq VSP < 23$	0.5204	0.4389	0.5041
		$23 \leq VSP < 28$	0.5284	0.4469	0.4935
		$28 \leq VSP < 33$	0.6015	0.3799	0.5461



	$33 \leq VSP < 39$	0.5239	0.4505	0.5117
	$VSP \geq 39$	0.5820	0.4011	0.4313
Promedio general		0.4671	0.4282	0.4537

(Autoría propia)

4.5 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en las pruebas de arranque en frío permitieron analizar el comportamiento del tren de potencia de la motocicleta Benelli TNT25 bajo diferentes condiciones de funcionamiento: ralentí, aceleración y condiciones reales de conducción. Estos resultados se discuten en relación con los objetivos de la investigación, la metodología aplicada y la bibliografía revisada.

La selección de los parámetros de medición (temperatura del refrigerante, régimen de giro, consumo de combustible y señal de la sonda lambda) se confirmó como pertinente, ya que cada uno de ellos mostró variaciones claras durante la transición del motor desde el arranque en frío hasta las condiciones normales de funcionamiento. Este comportamiento valida el criterio metodológico adoptado, pues permitió caracterizar el proceso de manera integral y contrastar adecuadamente los resultados de las pruebas realizadas.

La división en dos fases (antes y después de alcanzar los 70 °C) resultó efectiva para diferenciar el arranque en frío de las condiciones estables de operación. En la primera fase se concentraron las mayores variaciones de los parámetros analizados, mientras que en la segunda fase se evidenció la estabilización del sistema. Este enfoque metodológico coincide de acuerdo con la directiva 2012/46/UE de la Comisión Europea, donde se especifica que el umbral para delimitar el arranque en frío en motores de combustión interna es de 70 °C o 5 minutos después de que el motor sea encendido.



Durante la campaña experimental, se observaron diferencias significativas entre los dos modos de operación. En el ensayo de ralentí, el motor tardó aproximadamente 531 segundos (8,8 minutos) en alcanzar la temperatura de operación, con un consumo total de 0,019 galones de combustible durante la primera fase. Por su parte, en la prueba de aceleración, el tiempo para llegar a 70 °C se redujo a 325 segundos (5,4 minutos). Aunque el consumo inicial (0,017 gal) fue ligeramente inferior al del ralentí, en la fase posterior ascendió a 0,035 gal, lo que refleja un gasto acumulado mayor. Estos resultados muestran que mantener el motor a un régimen más alto acelera la estabilización térmica, pero a costa de un mayor consumo de combustible en el periodo completo de arranque en frío.

Por su parte, en el ensayo en ruta, el motor tardó 590 segundos (9,8 minutos) en alcanzar la temperatura umbral, con un consumo acumulado de 0,113 galones. Este mayor tiempo de calentamiento, a pesar de que la motocicleta operó bajo carga y variaciones de régimen, puede explicarse por el efecto de la refrigeración dinámica debida al flujo de aire durante la marcha, lo que retarda el incremento térmico en comparación con los ensayos en condiciones estáticas. Sin embargo, al analizar el consumo, se evidenció que la conducción real demanda un gasto mayor de combustible que las pruebas estacionarias, lo cual resulta consistente con la literatura, donde se señala que las condiciones de tránsito y el arrastre aerodinámico intensifican el enriquecimiento de la mezcla en arranques en frío.

En todos los modos de operación, el análisis de la sonda lambda mostró que el motor trabajó de manera sostenida con mezcla rica durante todo el arranque en frío. No obstante, en ensayo de aceleración y ensayo en condiciones reales se observó una ligera tendencia decreciente en la señal a medida que el motor alcanzaba temperaturas más altas, lo que indica un acercamiento progresivo a la mezcla estequiométrica. La permanencia prolongada en mezcla rica observada durante la campaña experimental puede explicarse netamente por la calibración de la ECU, que prioriza la estabilidad térmica y mecánica del motor en sus primeros minutos de funcionamiento. Este comportamiento coincide con



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



los resultados obtenidos en estudios similares, aunque en algunos casos la transición a mezcla estequiométrica ocurre en menor tiempo, lo que sugiere variaciones propias del diseño y control electrónico de cada fabricante.



5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Durante el arranque en frío el motor presenta un comportamiento claramente distinto al de la operación normal. En esta etapa, la ECU mantiene una mezcla enriquecida que incrementa el consumo específico de combustible y retrasa la transición a mezcla estequiométrica. Además, se evidenció que el consumo total y la estabilidad térmica varían en función del régimen de operación y de las condiciones externas, lo que confirma que el arranque en frío tiene implicaciones directas en la eficiencia energética y en las emisiones contaminantes.
- El tiempo de calentamiento hasta alcanzar los 70 °C varió de forma considerable según las condiciones de operación. En ralentí, el motor necesitó 531 s, mientras que en aceleración libre se redujo a 325 s ($\approx 38,8$ % menos). En la conducción en ruta real, en cambio, el tiempo se extendió hasta 590 s debido al efecto de la refrigeración dinámica por el flujo de aire, lo que retrasó la estabilización térmica a pesar de que el motor operó bajo carga. Estos resultados confirman que el arranque en frío no es uniforme y que los tiempos de calentamiento dependen tanto del régimen de giro como de la interacción con factores externos propios de la conducción real.
- El consumo durante el arranque en frío depende directamente de la condición de operación y del modo en que se demanda potencia al motor. En el ensayo de ralentí, el consumo instantáneo en frío (0,1302 gal/h) superó al registrado en condiciones normales (0,1243 gal/h), lo que confirma que, mientras el motor no alcanza su temperatura óptima, requiere una mezcla más rica para mantenerse encendido. En el ensayo de aceleración libre, en cambio, el consumo en frío (0,1959 gal/h) fue ligeramente menor que en condiciones normales (0,19726 gal/h), lo que indica que, bajo transiciones bruscas de aceleración sin carga, la temperatura del motor influye menos que la propia inestabilidad del flujo de aire y combustible generada por el acelerador. Durante la conducción en ruta, se



registró un consumo mayor en arranque en frío (0,4671 gal/h) respecto a condiciones normales (0,4 gal/h). Esto concuerda con el hecho de que, bajo carga, el motor frío presenta mayor fricción interna y una combustión menos eficiente, lo que incrementa el requerimiento de combustible para producir el mismo nivel de potencia útil.

- El análisis por potencia específica del vehículo (VSP) muestra que el consumo instantáneo promedio es sistemáticamente mayor durante el arranque en frío, con un valor global de 0.467 gal/h, frente a 0.428 gal/h en condiciones normales. Este incremento se observa principalmente en los modos de baja demanda, como desaceleración ($VSP < -2$) y operación en vacío ($0 \leq VSP < 1$), donde los consumos en frío alcanzan 0.516 gal/h y 0.448 gal/h, respectivamente, superando a los consumos en operación normal. Esto confirma que, durante los primeros minutos de funcionamiento, la mezcla enriquecida y la fricción interna elevan el requerimiento de combustible incluso a cargas mínimas. En los intervalos de baja y media potencia ($1 \leq VSP < 19$), que representan la mayor parte del uso real en conducción, el consumo también es consistentemente superior en arranque en frío, con valores entre 0.437 y 0.470 gal/h, en comparación con los 0.377 a 0.375 gal/h en condiciones normales. Estos rangos explican la mayor parte de la diferencia total entre ambos modos de operación. Esto ocurre porque, una vez alcanzada la temperatura óptima, el aumento de demanda mecánica domina sobre el efecto térmico, y el motor caliente puede requerir más combustible para mantener aceleraciones intensas. Finalmente, en los modos de alta carga ($VSP \geq 19$) el consumo en condiciones frío supera nuevamente al de condiciones normales, como en $23 \leq VSP < 28$ (normal: 0.447 gal/h, frío: 0.528 gal/h) y $28 \leq VSP < 33$, donde la diferencia es aún más marcada. Los resultados confirman que el arranque en frío reflejan un mayor impacto en el consumo en prácticamente todos los modos de VSP.



- Durante el arranque en frío, la sonda lambda evidencia que la ECU mantiene una mezcla de aire-combustible enriquecida en todos los ensayos, con promedios de 1185 mV (ralentí), 1178 mV (aceleración) y 1145 mV (ruta). La diferencia entre fases muestra cómo la ECU ajusta progresivamente la inyección: en ralentí la mezcla rica se mantiene casi constante, mientras que en aceleración y conducción en ruta la mezcla rica disminuye levemente en la fase 2, reflejando la adaptación del sistema a mayor régimen, carga y flujo de aire. Este comportamiento confirma que el sistema de inyección está calibrado para garantizar estabilidad térmica y de combustión durante el arranque en frío, ajustando dinámicamente la mezcla según las condiciones reales de operación.
- La normativa establece que el arranque en frío puede considerarse finalizado cuando el motor alcanza los 70 °C o transcurridos 5 minutos desde el encendido. Sin embargo, los resultados experimentales muestran que la Benelli TNT25 requiere 8,8 minutos en ralentí para alcanzar los 70 °C; 5,4 minutos en aceleración y 9,3 minutos en ruta, por lo que el umbral de tiempo fijo de 5 minutos podría ser insuficiente para representar el fin real del arranque en frío en este tipo de motocicletas. En cambio, el criterio de temperatura (70 °C) se presenta como un indicador más confiable, ya que refleja la condición térmica efectiva del motor y está directamente vinculada a la estabilización de la combustión y del consumo. Por lo tanto, para la caracterización de arranques en frío en motocicletas similares, resulta más conveniente adoptar la temperatura como umbral de referencia antes que un tiempo estándar.
- Una vez superado el arranque en frío (70 °C), el motor mantuvo estabilidad térmica en todos los ensayos, con la temperatura regulada entre 70 y 76 °C gracias al control del electroventilador, termostato y a condiciones externas en caso del ensayo en ruta. Esto confirma que la fase crítica en términos de consumo de combustible y enriquecimiento de la mezcla se concentra únicamente en los



primeros minutos de operación, reforzando la importancia de caracterizar detalladamente esta etapa para evaluar el rendimiento del sistema de inyección.

- Los registros obtenidos con el CANedge y el ELM327 mostraron coherencia en la tendencia de variables (temperatura, RPM, consumo, oxígeno), validando la confiabilidad de los equipos empleados y la metodología de medición. Este punto es importante porque respalda la robustez de la campaña experimental, lo que da mayor peso a los resultados.
- La división en dos fases para el análisis de cada variable permitió identificar con mayor claridad la evolución de estas. Esta forma de caracterización facilita comparar condiciones operativas y podría emplearse en estudios posteriores sobre emisiones, calibración de ECU o eficiencia energética en diferentes tipos de motocicletas.

5.2 Recomendaciones

- Para estudios futuros, se sugiere incluir mediciones directas de emisiones mediante sensores o analizadores de gases (CO, HC, NO_x, CO₂) con el fin de caracterizar el sistema de postratamiento y evaluar la eficiencia de la combustión. Esto con el fin de correlacionar el comportamiento de la mezcla enriquecida durante los primeros minutos de operación con la eficiencia del sistema de postratamiento y las emisiones reales de la motocicleta, contribuyendo a un análisis más integral del rendimiento del motor y del control electrónico de inyección durante los diferentes modos de operación.
- Se sugiere emplear la temperatura de 70 °C como umbral principal en pruebas experimentales y estudios futuros, ya que el tiempo fijo de 5 minutos no representa adecuadamente el fin del arranque en frío en la motocicleta analizada.
- Se recomienda repetir el ensayo bajo distintas temperaturas ambientales (mañana, tarde, climas fríos o cálidos), ya que el arranque en frío puede variar



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



significativamente dependiendo del entorno, afectando tanto el consumo como el tiempo de estabilización térmica.



6 BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Roberts, R. Brooks, and P. Shipway, "Internal combustion engine cold-start efficiency: A review of the problem, causes and potential solutions," 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2014.03.002.
- [2] A. M. A. Alalo *et al.*, "Exergy and energy analysis during cold-start and warm-up engine operation," *Fuel*, vol. 330, p. 125580, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125580>.
- [3] C. Feng *et al.*, "Investigation on the hydrocarbon adsorption performance enhancement of the ZSM-5 zeolite with different Si/Al ratio in the cold start process of the gasoline engine," *Energy*, vol. 300, p. 131645, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.131645>.
- [4] A. A. Yusuf and F. L. Inambao, "Effect of cold start emissions from gasoline-fueled engines of light-duty vehicles at low and high ambient temperatures: Recent trends," 2019, doi: 10.1016/j.csite.2019.100417.
- [5] A. Zare *et al.*, "Diesel engine emissions with oxygenated fuels: A comparative study into cold-start and hot-start operation," *J Clean Prod*, vol. 162, pp. 997–1008, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.052>.
- [6] EL UNIVERSO, "Crecimiento del mercado de motos en Ecuador impulsa la llegada de nuevos modelos y campañas enfocadas en turismo de carretera," Alava, Jose.
- [7] Ministerio de Energía y Minas, "Ecuador avanza hacia la disminución de emisiones de CO₂."
- [8] D. G. Pérez Darquea, "Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales," *INNOVA Research Journal*, pp. 23–34, Mar. 2018, doi: 10.33890/innova.v3.n3.2018.635.
- [9] A. Mendoza-Domínguez, M. A. León-Romero, and P. Caballero-Mata, "Emisiones de compuestos orgánicos volátiles durante arranques en frío de automóviles ligeros," *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, vol. XI, no. 3, pp. 333–347, 2010, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40415987009>
- [10] D. Q. Nguyen-Phuoc, N. A. N. Nguyen, P. T. K. Tran, H.-G. Pham, and O. Oviedo-Trespalcios, "The influence of environmental concerns and psychosocial factors on electric motorbike switching intention in the global south," *J Transp Geogr*, vol. 113, 2023, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2023.103705.



- [11] S. M. Bante, S. R. Karale, and G. K. Awari, "Real Driving Emission Measurement from Motorcycle by Using Sensor-Based Exhaust Gas Sensing System," in *AIP Conference Proceedings*, 2023. doi: 10.1063/5.0167615.
- [12] J. Manzano, "MERCADO DE LA MOTOCICLETA DE COMBUSTIÓN INTERNA Y OPORTUNIDADES DE LA INDUSTRIA DE LA MOTOCICLETA ELÉCTRICA," Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, 2011.
- [13] G. Zamboni, C. Carraro, and M. Capobianco, "On-road instantaneous speed measurements on powered two-wheelers for exhaust emissions and fuel consumption evaluation," *Energy*, vol. 36, no. 2, pp. 1039–1047, 2011, doi: 10.1016/j.energy.2010.12.004.
- [14] M. Pechout, P. Jindra, J. Hart, and M. Vojtisek-Lom, "Regulated and unregulated emissions and exhaust flow measurement of four in-use high performance motorcycles," *Atmos Environ X*, vol. 14, p. 100170, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2022.100170>.
- [15] K. S. Chen *et al.*, "Motorcycle emissions and fuel consumption in urban and rural driving conditions," *Science of the Total Environment*, vol. 312, no. 1–3, pp. 113–122, 2003, doi: 10.1016/S0048-9697(03)00196-7.
- [16] L. Ntziachristos, A. Koutsos, A. Perujo, T. Lähde, A. A. Zardini, and B. Giechaskiel, "Particulate Emissions of Euro 4 Motorcycles and Sampling Considerations," *Atmosphere (Basel)*, vol. 10, no. 421, 2019.
- [17] A. Hassani and V. Hosseini, "An assessment of gasoline motorcycle emissions performance and understanding their contribution to Tehran air pollution," *Transp Res D Transp Environ*, vol. 47, pp. 1–12, 2016, doi: 10.1016/j.trd.2016.05.003.
- [18] Y. Sahu, P. Sakthivel, M. Sithanathan, and M. Maheshwari, "Experimental Study on Performance and Emissions of BS VI Complaint EFI Motorbike with Oxygenated Fuel Blends (E0, E10, E20 & M15)," in *SAE Technical Papers*, 2024. doi: 10.4271/2024-01-2372.
- [19] K. O. Blumberg, M. P. Walsh, and C. Pera, "LOW-SULFUR GASOLINE & DIESEL: THE KEY TO LOWER VEHICLE EMISSIONS", Accessed: Sep. 23, 2025. [Online]. Available: https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Low-Sulfur_ICCT_2003.pdf
- [20] A. A. Yusuf and F. L. Inambao, "Effect of cold start emissions from gasoline-fueled engines of light-duty vehicles at low and high ambient temperatures: Recent trends," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 14, 2019, doi: 10.1016/j.csite.2019.100417.
- [21] Y.-L. T. Nguyen, A.-T. Le, K. N. Duc, V. N. Duy, and C. D. Nguyen, "A study on emission and fuel consumption of motorcycles in idle mode and the impacts on air quality in



- Hanoi, Vietnam,” *International Journal of Urban Sciences*, vol. 25, no. 4, pp. 522–541, 2021, doi: 10.1080/12265934.2020.1871059.
- [22] R. Kumar, B. K. Durai, W. Saleh, and C. Boswell, “Comparison and evaluation of emissions for different driving cycles of motorcycles: A note,” *Transp Res D Transp Environ*, vol. 16, no. 1, pp. 61–64, 2011, doi: 10.1016/j.trd.2010.08.006.
- [23] United Nations Global, “Regulation No. 2 United Nations Global Technical Regulation on measurement procedure for two-wheeled motorcycles equipped with a positive or compression ignition engine with regard to the emissions of gaseous pollutants, CO2 emissions and fuel consumption,” 2022.
- [24] B. Giechaskiel, M. Clairotte, V. Valverde, and P. Bonnel, *Real Driving Emissions: 2017 Assessment of PEMS measurement uncertainty*. 2018. doi: 10.2760/127122.
- [25] B. Ashok, A. N. Kumar, A. Jacob, and R. Vignesh, “Chapter 1 - Emission formation in IC engines,” in *NOx Emission Control Technologies in Stationary and Automotive Internal Combustion Engines*, B. Ashok, Ed., Elsevier, 2022, pp. 1–38. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823955-1.00001-2>.
- [26] M. S. Reiter and K. M. Kockelman, “The problem of cold starts: A closer look at mobile source emissions levels,” *Transp Res D Transp Environ*, vol. 43, pp. 123–132, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.12.012>.
- [27] Y. Hu, Y. Sun, Q. Zhang, and Q. Ma, “Experimental analysis on the combustion performance of aftertreatment diesel burner under cold start and warm-up conditions,” *Appl Therm Eng*, vol. 253, p. 123783, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.123783>.
- [28] A. Zare *et al.*, “Emissions and performance with diesel and waste lubricating oil: A fundamental study into cold start operation with a special focus on particle number size distribution,” *Energy Convers Manag*, vol. 209, p. 112604, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112604>.
- [29] P. Bielaczyc, J. Merkisz, and J. Pielecha, “A method of reducing the exhaust emissions from DI diesel engines by the introduction of a fuel cut off system during cold start,” 2001.
- [30] T. Carreño Vicente, “El Calor del Diseño,” in *Ilustrafic 2015. 2º Congreso Internacional de Ilustración, Arte y Cultura Visual*, Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València, Oct. 2015. doi: 10.4995/ILUSTRAFIC/ILUSTRAFIC2015/458.
- [31] N. Caiza Lopez, “TERMOGRAFÍA INDUSTRIAL EN MOTORES ELÉCTRICOS DE LA PLANTA SOGUAR S.A. PARA DETERMINAR PARÁMETROS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2016.



- [32] O. F. Camuendo Cabascango and M. P. Pastaz Tambi, “Análisis de ciclo de vida de vehículos urbanos eléctricos y propuesta de reutilización de baterías de alto voltaje,” Nov. 2021, Accessed: Sep. 21, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11727>
- [33] Z. Mera *et al.*, “Life-cycle assessment of the batteries used in electric motorcycles in Ecuador,” in *2021 Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad de Aire y Salud Pública (CASAP)*, 2021, pp. 1–4. doi: 10.1109/CASAP54985.2021.9703398.
- [34] ATM, “Instructivo de Revisión Técnica Vehicular ,” 2022, Accessed: Sep. 23, 2025. [Online]. Available: <https://www.atm.gob.ec/dcom/INSTRUCTIVO/06-01-Instructivo%20DRTV-2022-IRTV.pdf>
- [35] J. A. Rosas Zurita and Á. D. Trujillo Maldonado, “Análisis de autonomía de batería y ciclos de conducción en un vehículo eléctrico urbano, en ciudades de altura.,” Apr. 2022, Accessed: Nov. 07, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12431>



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



ANEXOS



ANEXO 1

Figura 38. Mapa térmico del bloque motor durante el arranque en frío

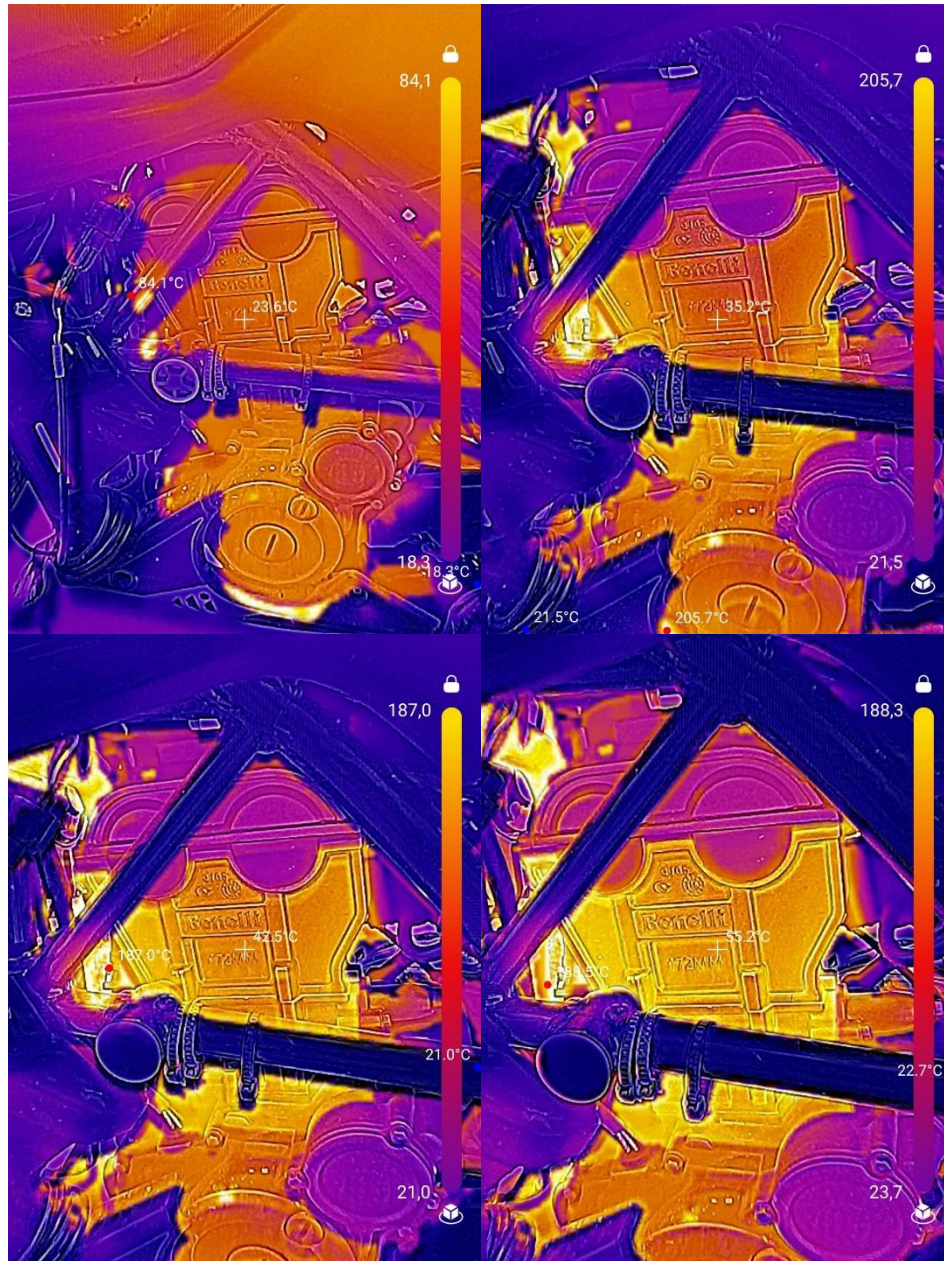
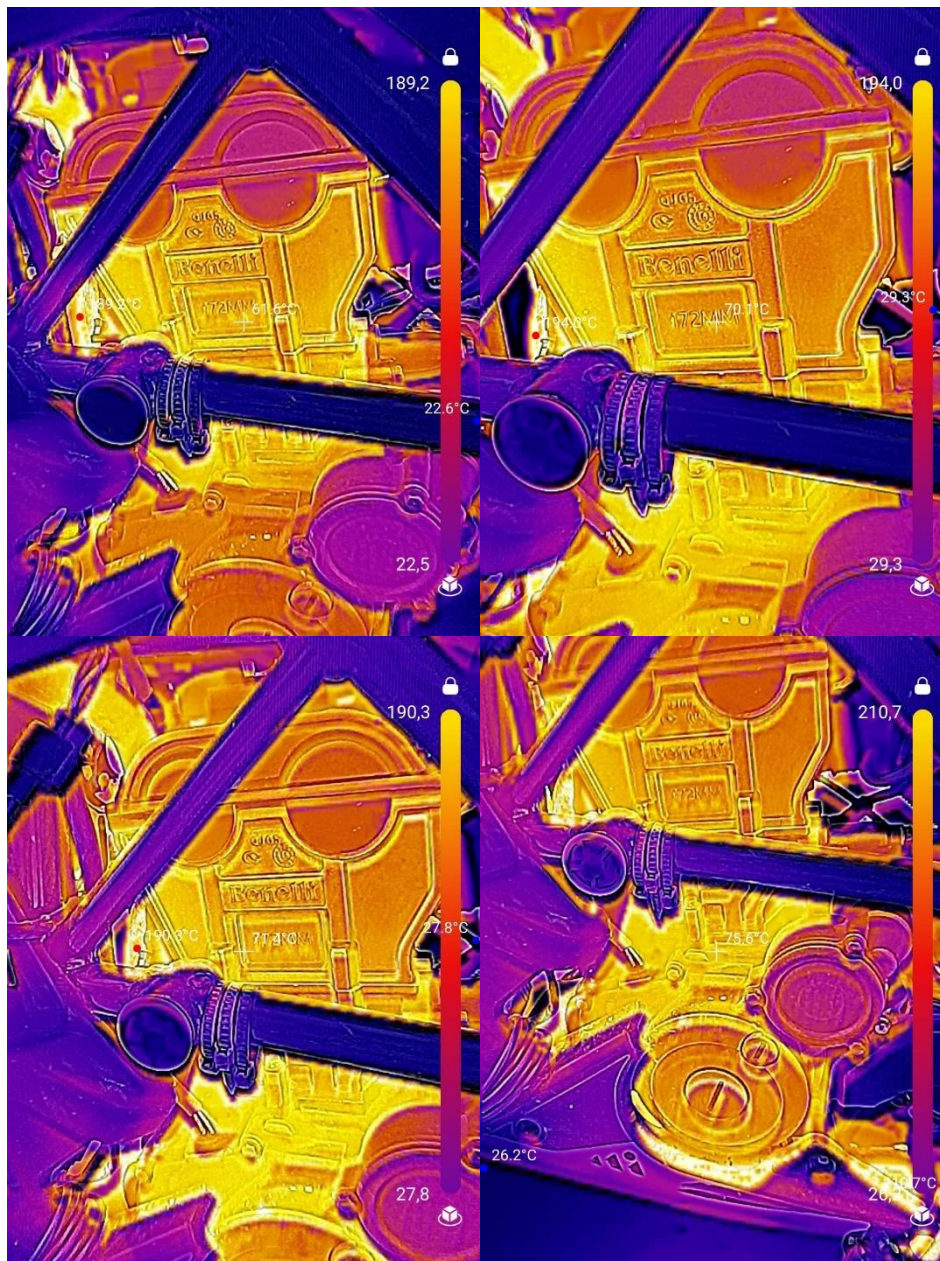




Figura 39. Mapa térmico del bloque motor posterior al arranque en frío





ANEXO 2
Montaje experimental

Figura 40. Ubicación e instalación de módulos en la motocicleta





UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Figura 41. Realización de ensayo en ralenti



Figura 42. Realización de ensayo en aceleración libre





UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



Figura 43. Realización de ensayo en condiciones reales





UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



ANEXO 3

Datos en crudo de ensayos experimentales

Figura 44. Archivo MF4 sin decodificar ensayo en ralenti

Index	timestamps	ID	DataBytes	BusChannel	IDE	DLC	DataLength	Dir	BusChannel_0	ID_0	IDE_0
0	3.18965	111	85 C4 B0 BE 00 EE 2F 80	9.0	0.0	8	8.0	0.0	9.0	0	0.0
1	3.1902999999999997	101	00	9.0	0.0	1	1.0	0.0	9.0	0	0.0
2	3.52955	111	91 04 B1 3F FF 01 D0 7F	9.0	0.0	8	8.0	0.0	9.0	0	0.0
3	3.5305999999999997	101	30	9.0	0.0	1	1.0	0.0	9.0	0	0.0
4	3.530601	102	01 05 42 12 04 2A	9.0	0.0	6	6.0	0.0	9.0	0	0.0
5	3.7401	101	30	9.0	0.0	1	1.0	0.0	9.0	0	0.0
6	3.7401009999999997	102	01 C6 42 12 04 2A	9.0	0.0	6	6.0	0.0	9.0	0	0.0
7	3.74035	111	95 EC D0 BF FF 01 D0 7F	9.0	0.0	8	8.0	0.0	9.0	0	0.0
8	3.9198999999999997	101	38	9.0	0.0	1	1.0	0.0	9.0	0	0.0
9	3.919901	102	01 5A 43 12 04 2A	9.0	0.0	6	6.0	0.0	9.0	0	0.0
10	3.92205	111	83 D4 50 BF FF 09 D0 7F	9.0	0.0	8	8.0	0.0	9.0	0	0.0
11	4.11785	101	38	9.0	0.0	1	1.0	0.0	9.0	0	0.0
12	4.117851	102	01 20 44 12 04 2A	9.0	0.0	6	6.0	0.0	9.0	0	0.0
13	4.1202999999999999	111	97 FC 70 BF FE 01 10 80	9.0	0.0	8	8.0	0.0	9.0	0	0.0
14	4.31585	101	38	9.0	0.0	1	1.0	0.0	9.0	0	0.0
15	4.3158509999999999	102	01 E6 44 12 04 2A	9.0	0.0	6	6.0	0.0	9.0	0	0.0
16	4.318	111	93 EC 90 BF FE 05 10 80	9.0	0.0	8	8.0	0.0	9.0	0	0.0
17	4.51405	101	38	9.0	0.0	1	1.0	0.0	9.0	0	0.0
18	4.5140509999999999	102	01 BD 45 12 04 2A	9.0	0.0	6	6.0	0.0	9.0	0	0.0
19	4.5140519999999995	103	AF 2F C5 EA F8 4C C2 A4	9.0	0.0	8	8.0	0.0	9.0	0	0.0
20	4.514053	104	07 81 42 02	9.0	0.0	4	4.0	0.0	9.0	0	0.0
21	4.514054	107	6D 00 20 3C 00	9.0	0.0	5	5.0	0.0	9.0	0	0.0
22	4.51635	111	89 FC 70 BF FF 01 F0 7F	9.0	0.0	8	8.0	0.0	9.0	0	0.0
23	4.71185	101	43	9.0	0.0	1	1.0	0.0	9.0	0	0.0