



**Puesta a punto de la sala de ensayos
del banco dinamométrico de rodillos de motocicletas
del Laboratorio de Máquinas Térmicas**

Luis Felipe Sánchez Ramírez

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Tutor

John Ramiro Agudelo Santamaría, Doctor (PhD) en Mecánica

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Mecánica
Medellín, Antioquia, Colombia
2024

Cita	L. F. Sanchez Ramirez [1]
Referencia	[1] L. F. Sanchez Ramirez, “Puesta a punto de la sala de ensayos del banco dinamométrico de rodillos de motocicletas del Laboratorio de Máquinas Térmicas”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Mecánica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2024.
Estilo IEEE (2020)	



Grupo de Investigación Manejo Eficiente de la Energía (GIMEL)



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

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

Dedicatoria

A todos los seres humanos creadores, el universo es nuestro.

Agradecimientos

A mi padre Luis Carlos, mi madre Diana Elena y mi hermano Carlos Daniel;
que me han apoyado siempre en cuanto han podido.

A mi abuela Blanca; que es la mejor mujer del mundo.

A mis colegas y amigos del Laboratorio de Máquinas Térmicas y de la carrera de
Ingeniería Mecánica; que su ayuda ha sido siempre oportuna.

Al profesor John Ramiro, que por más de ocho años me brindó su apoyo
y la posibilidad de hacer parte de su grupo de investigación en motores.

A la empresa Honda, por el préstamo de una motocicleta de pruebas para este trabajo.

A la Universidad de Antioquia, mi Alma Mater.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN	11
II. OBJETIVOS	13
A. Objetivo general	13
B. Objetivos específicos	13
III. PUESTA A PUNTO	14
A. Composición de la sala de ensayos	16
1). Estructura del banco:	16
2). Celda de carga del rodillo	17
3). Sensor óptico para rpm en el rodillo	18
4). Sensor inductivo para rpm del motor	19
5). Medición de flujo másico	19
6). Medición de la relación Aire-Combustible	20
7). Sistema de medición de partículas y emisiones	21
8). Software de presentación de ciclos de conducción	22
B. Montaje y operación de la sala.	23
1). Sistema de escape:	23
2). Adquisición de datos:	24
3). Montaje del MAF	25
4). Ubicación de la motocicleta en el banco	26
5). Operación del software LabVIEW y DynoJet	27
6). Procedimiento estándar de pruebas	29
IV. PRUEBA DE REPETIBILIDAD	30

A. Marco teórico.	30
B. Metodología.	34
C. Resultados	35
V. CONCLUSIONES	40
VI. RECOMENDACIONES	42
REFERENCIAS	43
ANEXOS	44

LISTA DE TABLAS

TABLA I. VARIABLES DE LA SALA DURANTE LAS PRUEBAS DE REPETIBILIDAD...	30
TABLA II. HORARIOS DE LAS PRUEBAS DE REPETIBILIDAD.	32
TABLA III. ERRORES SISTEMÁTICOS ASOCIADOS A CADA VARIABLE.....	34
TABLA IV. RESULTADOS DE LOS INTERVALOS DE CONFIANZA.....	39

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Comparación entre ciclos de conducción internacionales y colombiano.	11
Fig. 2. Diagrama esquemático del banco dinamométrico de rodillos.	14
Fig. 3. Diagrama isométrico del banco	16
Fig. 4. a) Freno electromagnético. b) Esquemático del freno en el banco.	17
Fig. 5. Diagrama de la celda de carga con galga extensiométrica	17
Fig. 6. Brazo de calibración de la celda de carga	18
Fig. 7. Ubicación del sensor óptico con la rueda dentada junto al rodillo.	18
Fig. 8. Sensor inductivo.....	19
Fig. 9. Sensor MAF.	19
Fig. 10. CAD e impresión 3D de acople para la entrada de aire de motocicleta.	20
Fig. 11. Diagrama de la interfaz de usuario y sonda de oxígeno del HORIBA HEXA 730λ	20
Fig. 12. ParSYNC Flex.	21
Fig. 13. Visualización del <i>software</i> FLEX studio.	21
Fig. 14. Pantalla de visualización del software de LabVIEW.	22
Fig. 15. Tubería de escape porta sondas.....	23
Fig. 16. Dispositivo DAQ USB-6212 de la empresa <i>National Instruments</i>	24
Fig. 17. Diagrama de comunicación de sensores con la adquisición de datos.	24
Fig. 18. Planos de las boquillas e isométricos de algunos acoples para MAF.	25
Fig. 19. Medidas del acople en su conexión con el MAF.	26
Fig. 20. Montaje físico del MAF y el acople	26
Fig. 21. Módulos del Power Core DynoJet.	27
Fig. 22. Interfaz de control de DynoJet.	27
Fig. 23. Interfaz de guardado de datos de DynoJet.	28
Fig. 24. Interfaz de LabVIEW con sus correspondientes cajas de programación gráfica.....	28
Fig. 25. Pruebas en el banco.....	29
Fig. 26. Ciclo de conducción para pruebas de repetibilidad en motocicletas.	32
Fig. 27. Comparativa de resultados para el CO ₂	36
Fig. 28. Comparativa de resultados para PM.	36
Fig. 29. Comparativa de resultados para HC.	37
Fig. 30. Comparativa de resultados para NO.	38

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

LMT	Laboratorio de Máquinas Térmicas
NO _x	Óxidos de Nitrógeno
NO	Monóxido de Nitrógeno
NO ₂	Dióxido de Nitrógeno
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
THC	Total Hydro-Carbons
PM	Particle Matter
PN	Particle Number
MAF	Mass Air Flow
PEMS	Portable Emissions Measurement Systems
RPM	Revoluciones por Minuto
LED	Light Emitting Diode
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
DAQ	Data Acquisition
AFR	Air-Fuel Ratio
USB	Universal Serial Bus
CSV	Comma Separated Values
TXT	Text
NDIR	Non-Dispersive Infra Red

RESUMEN

Para entender el desempeño mecánico-energético y valorar qué tanto contaminan los vehículos provistos de motor de combustión interna es necesario disponer de los medios adecuados, por eso se planteó instalar un banco dinamométrico de rodillos para pruebas de motocicletas en el Laboratorio de Máquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia. El banco debe contar con un conjunto de instrumentos de medición de señales de operación de la motocicleta de prueba, que bien puede ser eléctrica o de combustión interna, así como también con un conjunto de instrumentos de medición de emisiones contaminantes para el sistema de escape de gases. Ambos módulos se comunican a un sistema de adquisición de datos que recopila en un *software* las variables en tiempo real. El principal propósito de este trabajo de grado consiste en acondicionar el banco de rodillos y sus equipos de medición en óptimas condiciones de operación para la realización de pruebas de laboratorio que permitan captar información relacionada con los parámetros de desempeño mecánico, energético y la determinación de factores de emisión de las motocicletas siguiendo ciclos de conducción característicos. Este trabajo incluye un diseño de pruebas de repetibilidad para el banco y se exponen los resultados de dichas pruebas. Los datos obtenidos tendrían implicaciones en la realización de proyectos de investigación, en revisión de normas, así como en el fortalecimiento de la formación de los ingenieros mecánicos de la Universidad de Antioquia.

***Palabras clave* — Motocicletas, banco dinamométrico de rodillos, emisiones contaminantes, instrumentación, puesta a punto, repetibilidad.**

ABSTRACT

To understand the mechanical-energetic performance and assess the level of pollution from vehicles with internal combustion engines, it is necessary to have the appropriate tools. Therefore, it was proposed to install a dynamometer test bench for motorcycles in the Thermal Machines Laboratory at the Faculty of Engineering, University of Antioquia. The bench must be equipped with a set of measurement instruments for monitoring the operation of the test motorcycle, whether it is electric or internal combustion, as well as a set of instruments for measuring pollutant emissions from the exhaust system. Both modules are connected to a data acquisition system that collects real-time variables into software. The main purpose of this thesis is to ensure that the roller bench and its measurement equipment are in optimal operating conditions for conducting laboratory tests that capture information related to mechanical and energetic performance parameters and determine emission factors for motorcycles following characteristic driving cycles. This work includes the design of repeatability tests for the bench and presents the results of these tests. The obtained data could have implications for research projects, regulatory reviews, and strengthening the education of mechanical engineers at the University of Antioquia.

***Keywords* — Motorcycles, dynamometer roller bench, pollutant emissions, instrumentation, tuning, repeatability.**

I. INTRODUCCIÓN

El Laboratorio de Máquinas Térmicas -LMT de la Universidad de Antioquia tiene dentro de sus objetivos investigar el desempeño mecánico, energético y de emisiones contaminantes para los motores de combustión interna buscando encontrar las mejores condiciones para su utilización o sustitución. Dentro de los estudios más recientes se ha explorado un acercamiento a la realidad nacional colombiana, y en ese sentido se han adelantado una serie de proyectos para medir a bordo en las categorías más representativas de vehículos, de las principales ciudades del país, los diversos gases contaminantes en tiempo real, tales como óxidos de nitrógeno -NO_x, monóxido de nitrógeno -NO, bióxido de nitrógeno -NO₂, monóxido de carbono -CO, bióxido de carbono -CO₂, hidrocarburos totales THC, así como material particulado -PM y concentración del número de partículas -PN.

Con base en los análisis realizados en dichas pruebas, se ha logrado sintetizar una metodología para generar ciclos de conducción representativos, los cuales expresan en forma estadísticamente significativa los modos o patrones como se conduce en una ciudad o región determinada. Los ciclos de conducción son perfiles de velocidades contra tiempo (o distancia) y su utilidad reside en la repetibilidad que puede obtenerse al realizar pruebas en un vehículo o en un banco de rodillos, en este último se enfocará este trabajo de grado.

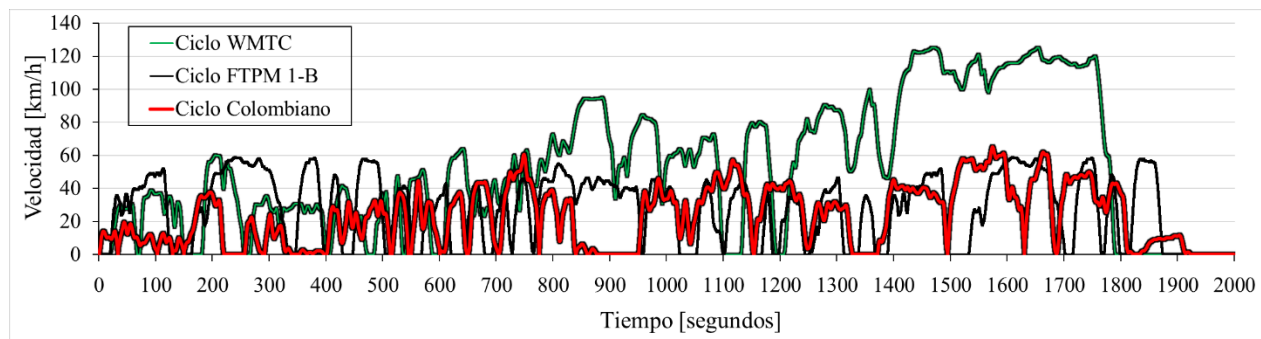


Fig. 1. Comparación entre ciclos de conducción internacionales y colombiano.

El propósito de este trabajo de grado consiste en poner a punto el banco de rodillos dinámico para pruebas en motocicletas ubicado en el LMT. El banco debe quedar acondicionado y en capacidad de reproducir ciclos de conducción mientras se miden todos los datos de gases de escape y operación de vehículos de pruebas en tiempo real.

Primero se describe cada uno de los equipos y sensores incluidos en la sala, se enumeran procedimientos y directrices básicas de manejo de los instrumentos, se propone también un método estándar para la realización de pruebas de laboratorio en la sala. Posteriormente se diseñan las pruebas de repetibilidad donde se evalúan todas las variables generadas por los sensores y equipos, en este se definen los rangos en los que las variables de la sala deben comportarse, la repetibilidad define si el banco de pruebas está correctamente ajustado a sus parámetros nominales.

Con la realización de este trabajo de grado se espera que el banco dinamométrico de rodillos opere completamente y mida con elevada confiabilidad. Se pretende que los parámetros requeridos por el laboratorio sean satisfechos y que el banco funcione de acuerdo con las necesidades de los proyectos investigativos que lo requieran.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Poner a punto la sala de ensayos del banco dinamométrico de rodillos para pruebas dinámicas de motocicletas.

B. Objetivos específicos

- Montar y poner a punto el banco dinamométrico de motocicletas y su instrumentación periférica.
- Garantizar la confiabilidad del banco de rodillos y su instrumentación periférica, para lo cual se realizarán pruebas de repetibilidad con base a horas/días.
- Elaborar un manual de operación del banco de ensayos.

III. PUESTA A PUNTO

Este capítulo trata sobre todo lo relacionado a la adaptación del banco de pruebas, de su funcionamiento, de sus parámetros, y de la manera en la que se operan sus instrumentos. Los elementos que componen el banco son:

- La estructura del banco de rodillos que soporta la motocicleta y los elementos.
- La celda de carga en el rodillo.
- El sensor óptico para RPM en el rodillo.
- El sensor inductivo para la bujía de la moto (RPM motor).
- Medidor de flujo de aire (MAF) a la entrada de admisión de la moto.
- Sensor de oxígeno a la salida de los gases (HORIBA).
- Sensor de emisiones y partículas (PEMS).
- Software de presentación de ciclos de conducción.

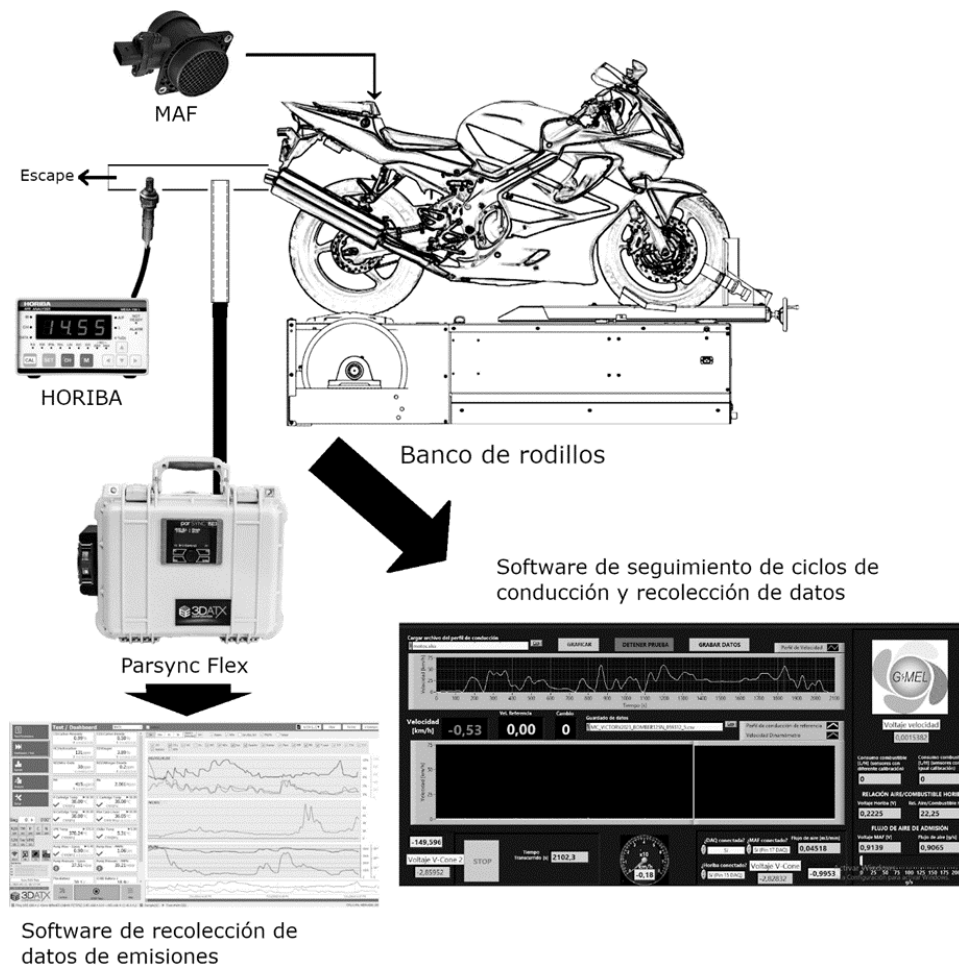


Fig. 2. Diagrama esquemático del banco dinámico de rodillos.

Cada uno de los sensores e instrumentos se sustentan en la necesidad de una serie de variables a medir, estas variables se requieren para hallar los parámetros de operación de la motocicleta y los factores de emisiones contaminantes.

- Consumo de combustible

Se define como la tasa de utilización de combustible por parte de un sistema termodinámico. Se determina mediante la medición de la cantidad de combustible consumido por unidad de tiempo, generalmente expresada en unidades estándar como kilogramos por segundo [kg/s] o metro cúbico por segundo [m^3/s], y permite analizar el rendimiento energético de un motor.

- Emisiones

Se entienden como la liberación de sustancias químicas y partículas indeseables en el entorno, resultante de procesos de combustión. Estas sustancias contaminantes pueden incluir compuestos gaseosos y partículas sólidas en suspensión, con el potencial de generar efectos adversos en la calidad del aire.

- Grado de carga del rodillo dinamométrico

Se refiere a la magnitud de la fuerza que se aplica al freno electromagnético acoplado al rodillo para simular condiciones realistas de conducción durante las pruebas. El grado de carga se aplica por medio de una celda de carga que traduce una orden eléctrica a un contra esfuerzo en el sentido de giro.

- Seguimiento del ciclo de conducción

Los ciclos de conducción representan los modos en que se conduce un vehículo en un lugar geográfico específico. A nivel de laboratorio el seguimiento de los ciclos recae completamente en el conductor, éste debe tener la capacidad de operar el vehículo siguiendo el ciclo de la manera más precisa posible. Las repeticiones de una misma prueba deben realizarse siempre por el mismo conductor para disminuir los efectos de incertidumbres aleatorias.

A. Composición de la sala de ensayos

La sala de ensayos se compone por los elementos ya mencionados, este apartado abordará a mayor detalle todas sus partes.

1). *Estructura del banco:* Esta estructura tiene por función servir de soporte para todos los elementos de medición, los periféricos y la motocicleta. Comercialmente existen diferentes marcas que ofrecen dichos bancos de pruebas, en el caso del banco instalado en el LMT se adquirió un banco Dyno Jet modelo 250i para motocicletas, de fabricación norteamericana.

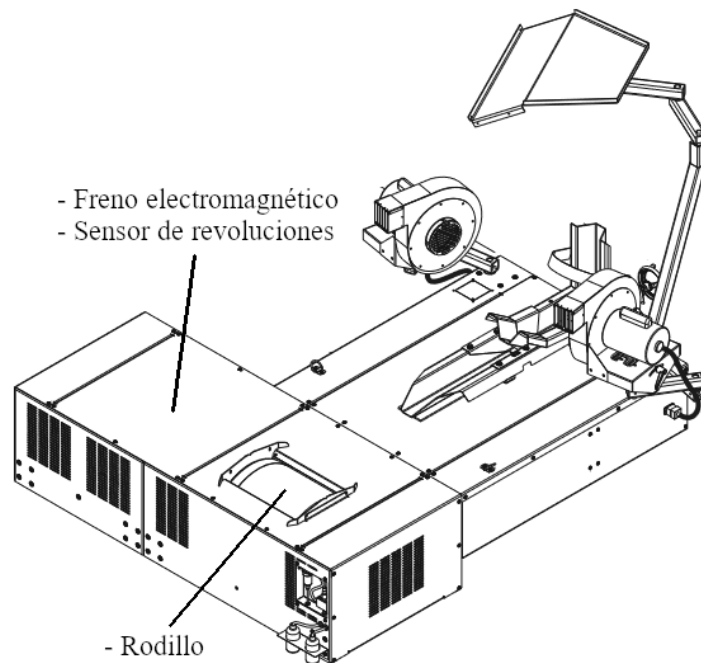


Fig. 3. Diagrama isométrico del banco

Nota: Esquema tomado del manual de instalación del banco [1]

Directamente en el banco se encuentran ensamblados la celda de carga del rodillo, el sensor óptico para revoluciones del rodillo, el sensor inductivo para la bujía de la motocicleta, y el freno electromagnético. Este freno electromagnético, también conocido como freno de corrientes de torbellino, funciona con inducción de corrientes electromagnéticas, por medio de la ley de Lenz genera una fuerza contraria al movimiento de giro que lleva el eje del rodillo y lo frena.

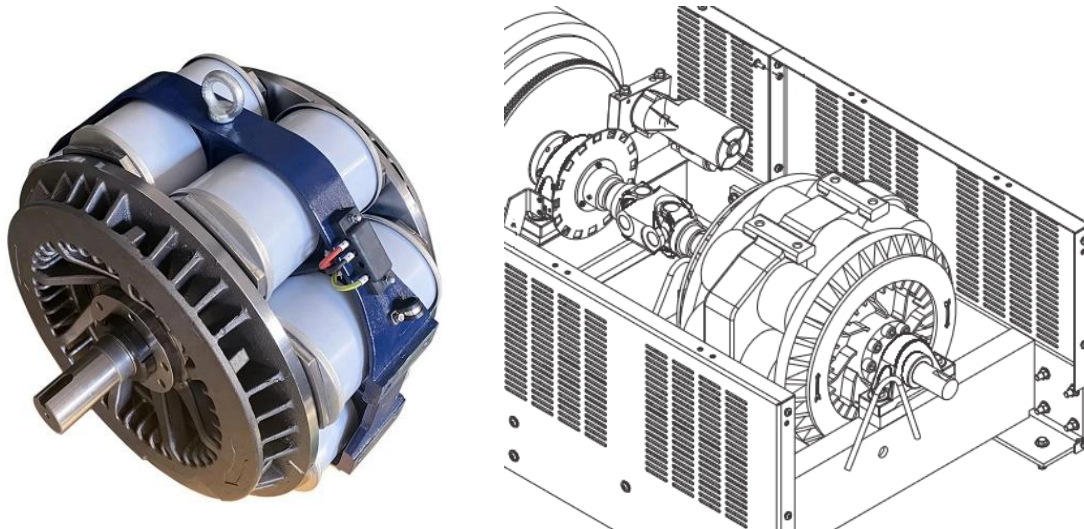


Fig. 4. a) Freno electromagnético. b) Esquemático del freno en el banco.

Notas: a) Fuente <https://www.gzkingan.com/>, Empresa de Guangzhou-China fabricante de autopartes.

b) Esquema tomado del manual de instalación del banco [1]

2). *Celda de carga del rodillo*: La celda de carga es un elemento que va conectado al freno electromagnético. Le indica al control del banco con qué fuerza frena el freno. Se compone de un cuerpo rígido de aleaciones de acero o acero inoxidable, con una mínima elasticidad, de manera que su deformación es ligera. Internamente tiene una galga extensiométrica que traduce la deformación del elemento rígido a un pulso eléctrico de lectura para el control.

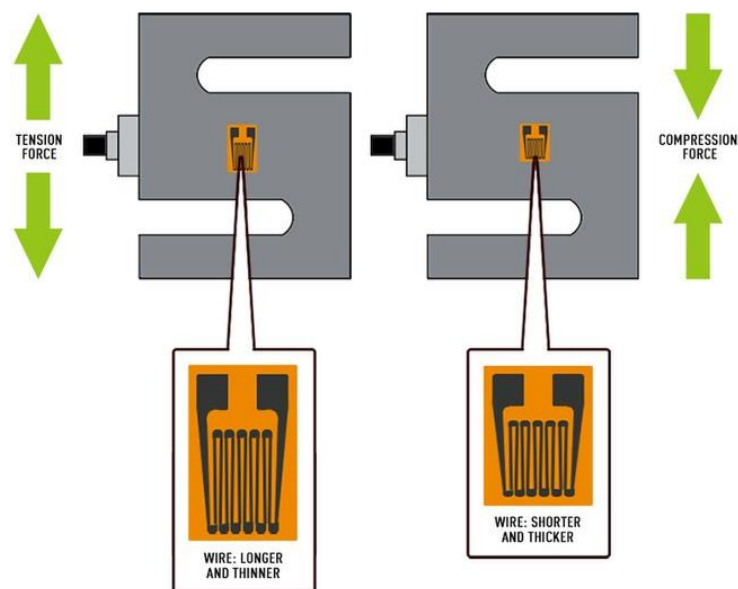


Fig. 5. Diagrama de la celda de carga con galga extensiométrica

Nota: Fuente https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Strain_gauge_deformation.jpg

La celda de carga requiere ser calibrada, para esto se usa un brazo que soporta cuatro pesas tabuladas de 25 libras cada una. De la fuerza de las pesas ejercida sobre el extremo del brazo con respecto a la señal tomada de la celda de carga se deduce una correlación lineal de la que se extrae el valor de la pendiente, la pendiente sirve como multiplicador dentro del apartado de calibración del software del freno.

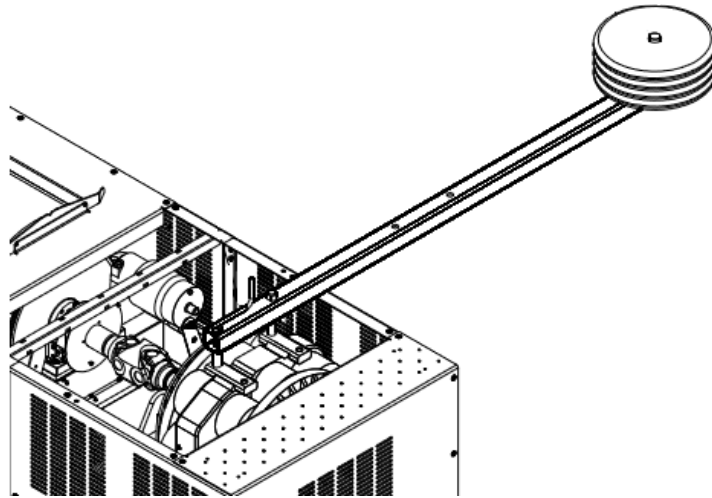


Fig. 6. Brazo de calibración de la celda de carga

Nota: Esquema tomado del manual de instalación del banco [1]

3). *Sensor óptico para rpm en el rodillo*: El sensor consiste en un interruptor óptico ranurado, con un LED infrarrojo a 890 nm y un fotodiodo receptor. De las revoluciones marcadas en el rodillo se extraen las variables de movimiento de la motocicleta como distancia, velocidad, aceleración.

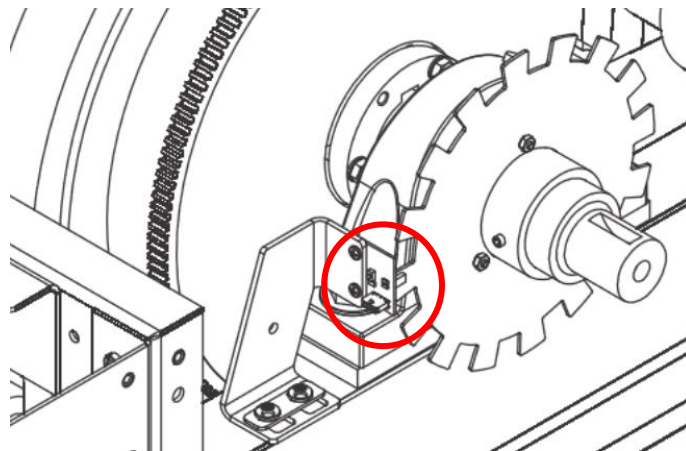


Fig. 7. Ubicación del sensor óptico con la rueda dentada junto al rodillo.

Nota: Esquema tomado del manual de instalación del banco [1]

4). *Sensor inductivo para rpm del motor*: El sensor inductivo en forma de pinza se acopla al cable que conecta la bujía de encendido de la motocicleta midiendo los pulsos generados. El sensor de tipo inductivo posee internamente un núcleo férnico que responde electromagnéticamente al pulso del cable, es decir que cada dos giros del motor se registra un pulso.



Fig. 8. Sensor inductivo

5). *Medición de flujo másico*: Existen tres maneras de abordar esta medición:

- Con el flujo másico del aire entrante a la motocicleta.
- Con el flujo másico a la entrada del combustible.
- Con el flujo másico a la salida de gases de escape.

Para cada manera se puede hacer uso de distintos dispositivos; así pues, el flujo de gases de escape se puede medir con un sensor que soporte las altas temperaturas de salida, el flujo del combustible requiere de un sistema de medición entre el tanque de combustible y la admisión del combustible.

Luego, el más sencillo de ellos en cuanto a acondicionamiento, y que finalmente se utilizó, fue el sensor a la entrada de aire, para esto se hizo uso de un medidor comercial de flujo másico de aire (MAF) de hilo caliente, usualmente utilizado en automóviles ligeros. Este sensor entregó los rangos adecuados de medición de caudal y los mejores tiempos de respuesta entre una gama de sensores probados.



Fig. 9. Sensor MAF.

Utilizar el sensor MAF requirió diseñar y fabricar un acople especializado para cada motocicleta en la boquilla de la entrada de aire, el acople precisó por un lado coincidir con el diámetro circular del MAF y por el otro ajustarse a las dimensiones de la boquilla de entrada, en la medida de lo posible sin que el diseño generara incomodidades para quien opera la motocicleta. En el LMT se hizo uso de una impresora 3D para fabricar los modelos de los acoples.

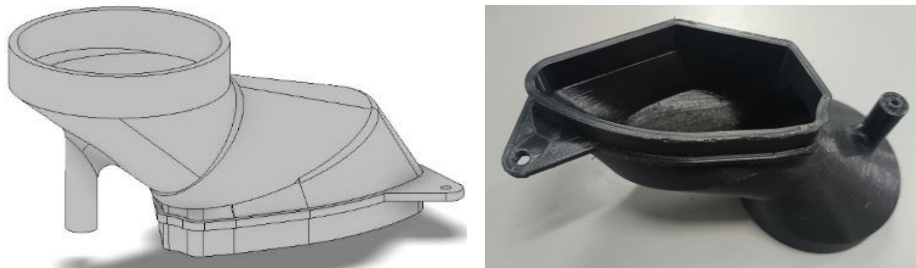


Fig. 10. CAD e impresión 3D de acople para la entrada de aire de motocicleta.

6). *Medición de la relación Aire-Combustible*: Dependiendo de la ubicación del sensor de flujo másico se hace necesario incluir un dispositivo que analice la relación de aire-combustible; así pues, si el flujo másico se mide directamente en el escape no es necesario conocer dicha relación, y si se mide antes de la motocicleta (entrada de aire o entrada de combustible) si se hace necesaria.

Se hizo uso del analizador de relación aire-combustible marca HORIBA MEXA 730λ, el cual cuenta con un sensor de oxígeno que mide la proporción de oxígeno en los gases de escape.

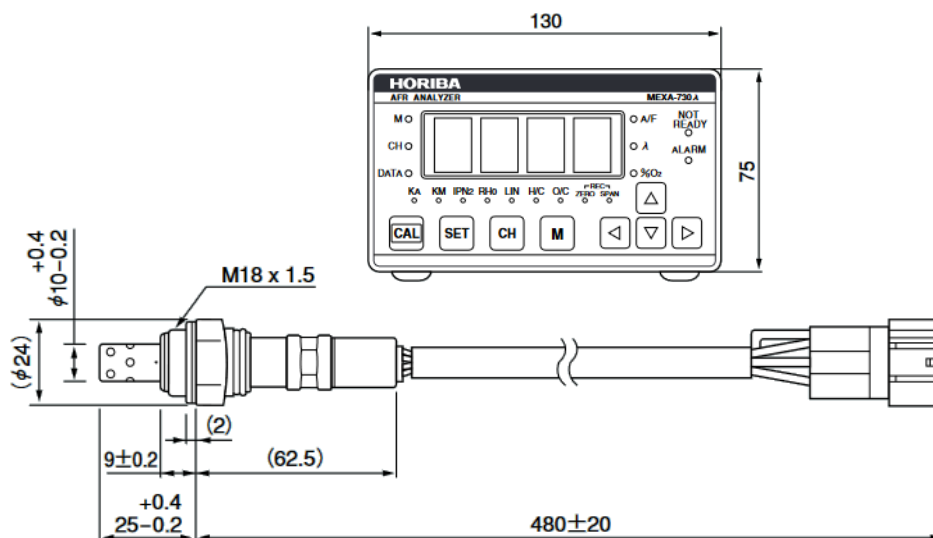


Fig. 11. Diagrama de la interfaz de usuario y sonda de oxígeno del HORIBA HEXA 730λ.

Nota: Fuente <https://www.horiba.com/>, Empresa japonesa fabricante de sistemas analíticos y de medición.

7). *Sistema de medición de partículas y emisiones*: La finalidad del banco de pruebas es medir las principales especies contaminantes producidas a partir de la combustión. En el mercado existen varias gamas de productos para realizar estas mediciones. En el LMT se optó por adquirir el equipo portable (PEMS) ParSYNC Flex de la empresa 3DATX, el equipo cuenta con 3 cartuchos que analizan las especies químicas: el primero mide el NO y NO₂, el segundo mide el CO, CO₂, HC y O₂, y el tercero mide el material particulado entre rangos de 10 y 10000 nanómetros. (ver *Anexo B. Características técnicas del ParSync Flex*).



Fig. 12. ParSYNC Flex.

Nota: Fuente <https://3datx.com/parsync-flex/>

El PEMS se comunica vía wifi con una laptop que tiene instalado el software de guardado de resultados (FLEX studio) que toma en tiempo real los valores reportados desde los cartuchos y los almacena en tablas de datos en formato *.csv.



Fig. 13. Visualización del software FLEX studio.

8). *Software de presentación de ciclos de conducción*: En el grupo de investigación se desarrolló un *software* en LabVIEW (entorno de programación gráfica de la *National Instruments*), que permite recibir todas las variables en tiempo real y almacenarlas en tablas de datos, así como visualizar en pantalla dichas variables. El *software* cuenta con un panel frontal que muestra la interfaz con el usuario cuando se ejecuta y los diagramas de bloques, donde cada uno puede cumplir funciones de adquisición de datos, comunicación de variables, conversión de unidades, etc.



Fig. 14. Pantalla de visualización del software de LabVIEW.

La pantalla de visualización muestra de manera central el ciclo de conducción; es decir, el perfil de velocidades que el conductor debe de seguir en la motocicleta. El ciclo muestra un espacio de tiempo de 30 segundos, siendo los últimos 10 segundos los correspondientes al “futuro” del ciclo. En línea verde se muestra la velocidad del ciclo y en línea roja la velocidad actual de la motocicleta. Periféricamente se ubican valores pertinentes en tiempo real, tales como la velocidad instantánea, el flujo másico de aire, la relación aire-combustible, el tiempo transcurrido de la prueba. Cabe mencionar que el *software* permanece constantemente en desarrollo.

B. Montaje y operación de la sala.

Con cada uno de los elementos explicados, se procede a definir el montaje de la sala de ensayos. El banco dinamométrico tiene un manual de instalación donde se explica la instalación de sus elementos [1]. Una vez montados los instrumentos allí descritos se procede con la instalación de los sistemas externos en la motocicleta de pruebas.

1). *Sistema de escape*: El sistema de escape se compone por la sonda del HORIBA y la sonda del ParSync, ambas sondas se articulan a diferentes agujeros de un tubo de acero que conecta hacia la extracción de gases de escape de la sala (Fig. 15). Con mangueras de alta temperatura se acopla desde el escape de la motocicleta al tubo de acero de manera que sea fácil el montaje y desmontaje entre ellos, fijado con abrazaderas metálicas.



Fig. 15. Tubería de escape porta sondas.

El ParSync cuenta con su propio sistema de alimentación de energía y toma sus datos en un computador exclusivo; sin embargo, como se muestra en el diagrama de la Fig. 17, el HORIBA requiere alimentación eléctrica por parte de una fuente de 12 voltios, como también de un dispositivo de adquisición de datos -DAQ (Fig. 16) que interprete los valores y los comunique con el *software*. Los pasos extra que implican la inclusión del dispositivo DAQ en el sistema se debe a que el Analizador AFR muestra los valores de la relación aire-combustible mas no los comparte con el *software* desarrollado en LabVIEW.



Fig. 16. Dispositivo DAQ USB-6212 de la empresa *National Instruments*

Nota: Fuente <https://www.ni.com/>, empresa norteamericana especializada en equipos de adquisición de datos.

2). *Adquisición de datos*: El dispositivo DAQ no solo conecta la señal del HORIBA si no también la señal del MAF y cualquier otra que se desee tomar del banco como la del sensor óptico de revoluciones del rodillo, necesario para la visualización de la velocidad instantánea en el *software* del ciclo de conducción. Dicha señal va dirigida nominalmente al control del banco, la señal se capta y se conecta al DAQ para ser leída en paralelo.

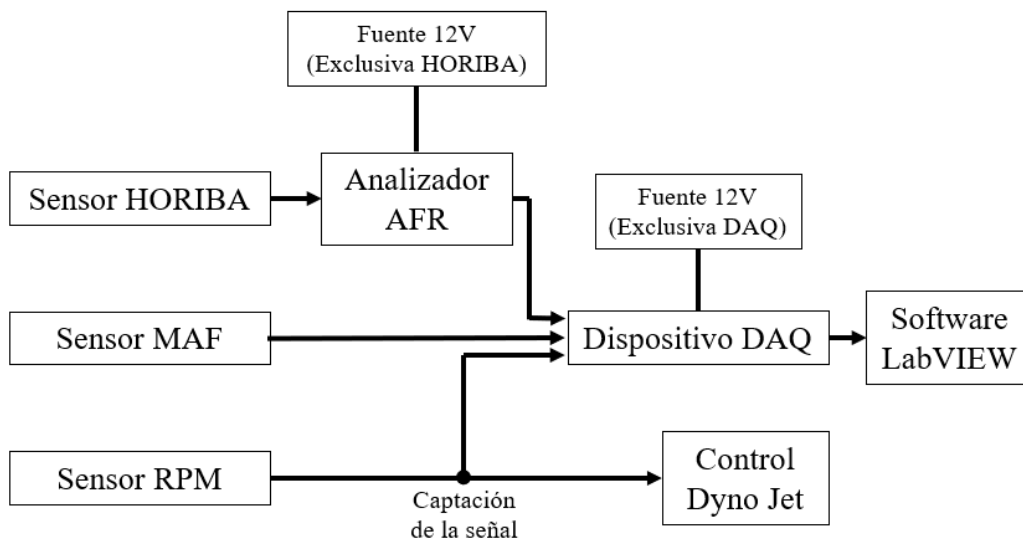


Fig. 17. Diagrama de comunicación de sensores con la adquisición de datos.

Finalmente, el dispositivo DAQ se conecta por cable USB al computador que tiene instalado LabVIEW con los módulos del programa de lectura de los ciclos.

3). *Montaje del MAF*: Cada familia de motocicletas tiene su propia boquilla de entrada de aire, por esto preferiblemente en días previos a las pruebas se hizo necesario diseñar y fabricar un acople que se ajustase sin riesgo de fugas a la geometría de la boquilla, dependiendo del modelo y el fabricante de la motocicleta la geometría puede ser compleja en mayor o menor medida. La boquilla suele ubicarse debajo del sillín para la mayoría de los modelos, así que durante las pruebas fue posible que el MAF obstaculizara el lugar en el que el conductor se posiciona.

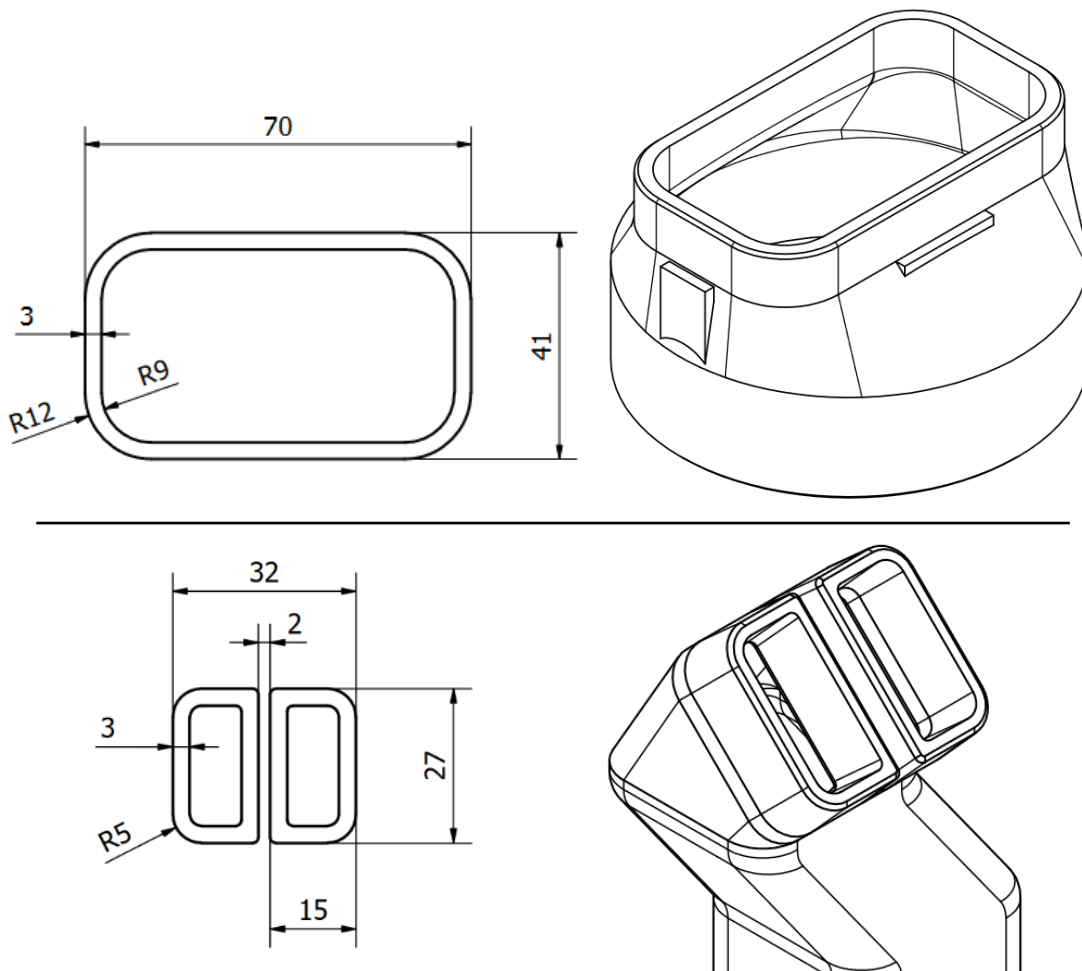


Fig. 18. Planos de las boquillas e isométricos de algunos acoples para MAF.

En la Fig. 18 se pueden observar dos ejemplos de las medidas básicas a ser tomadas de la entrada de aire de la motocicleta, luego dimensiones como el espesor o las longitudes de extrusión quedan a decisión del diseñador. En la Fig. 19 se muestran las medidas básicas de la sección del acople que enfrenta la boquilla del MAF, la conexión se efectúa por medio de una manguera con diámetro de 76 milímetros y abrazaderas de sujeción a ambos extremos (Fig. 20).

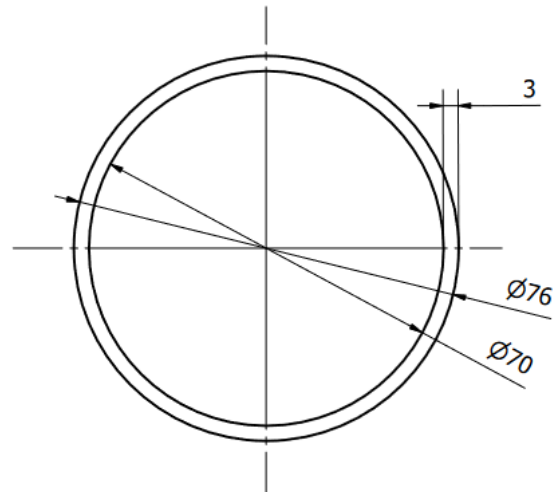


Fig. 19. Medidas del acople en su conexión con el MAF.

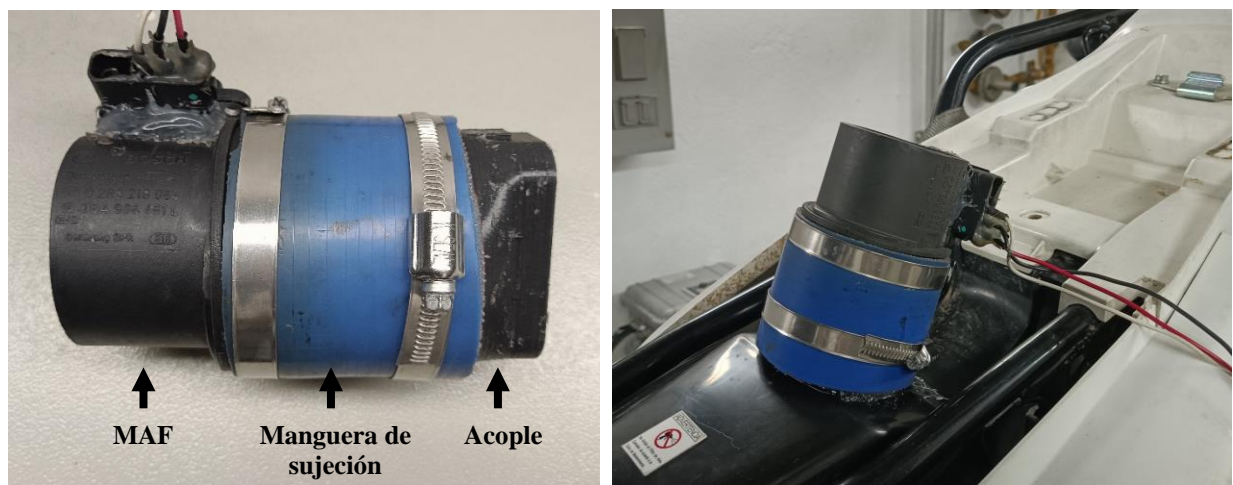


Fig. 20. Montaje físico del MAF y el acople

4). *Ubicación de la motocicleta en el banco:* De acuerdo con las instrucciones de operación del banco [1], la motocicleta de pruebas inicialmente debe subir por la rampa de carga hasta el final del carrete de anclaje de la llanta delantera, con correas de amarre se asegura la motocicleta y se alinea con el rodillo del banco. Una vez puesta en posición, se efectúan las siguientes acciones:

- Asegurar el sistema de escape al tubo de escape.
- Asegurar el MAF a la motocicleta y conectarlo al sistema de control.
- Conectar el sensor inductivo al cable de la bugía del motor de la motocicleta.
- Verificar que los dispositivos (MAF, ParSync, HORIBA) estén marcando valores.

5). *Operación del software LabVIEW y DynoJet*: El guardado de datos de pruebas se efectúa a través de dos programas funcionando en dos computadores independientes. Por facilidad se decidió contar con el control básico del banco separado de los controles implementados por el LMT, debido al constante desarrollo que se adelanta a nivel investigativo en este último.

Por un lado, el *software Power Core* (nativo del banco DynoJet) se despliega en 5 módulos, de los cuales se utilizan tan solo dos: uno para controlar el banco y el otro para guardar y exportar datos de información proveniente del banco (rodillo, freno, bugía del motor, entre otros).

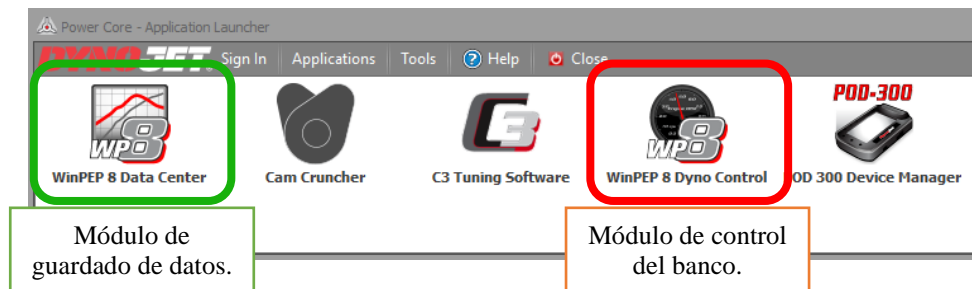


Fig. 21. Módulos del Power Core DynoJet.

El módulo de control del banco se compone de una tabla central donde se muestran los parámetros principales que entrega el banco, cuenta con tres indicadores de aguja que muestran las revoluciones del motor y velocidades del rodillo, cuenta además con un panel superior en el que se permite la asignación y activación de valores de carga, entre otras opciones.

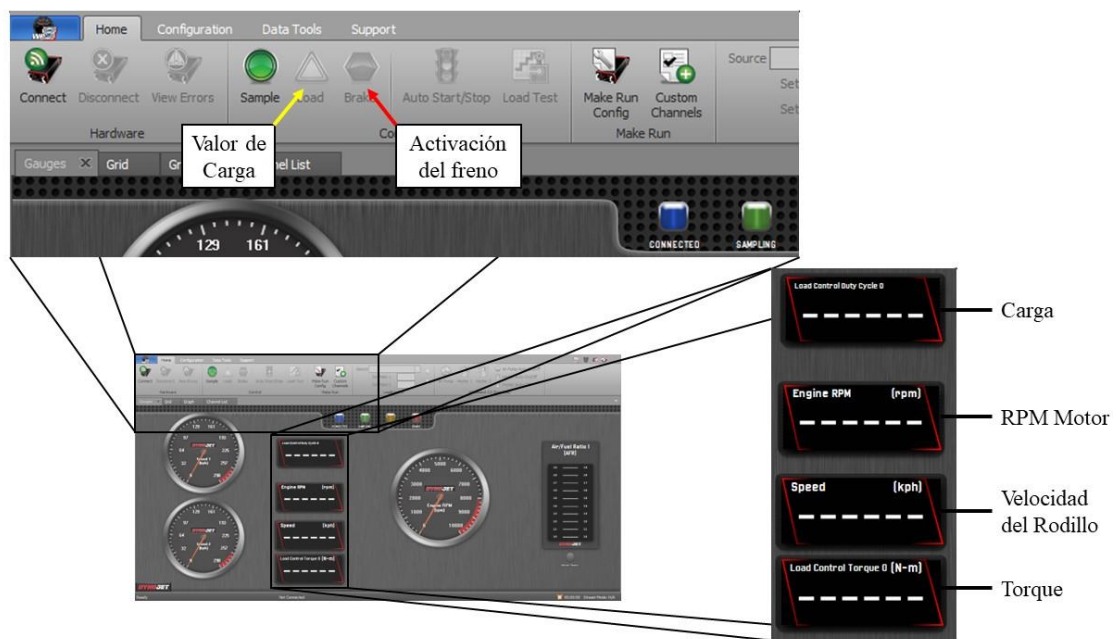


Fig. 22. Interfaz de control de DynoJet.

Luego se tiene el módulo de guardado de datos, este se encarga de archivar los resultados de las pruebas y, especificando la tasa de muestreo, exporta los archivos a formato de texto.

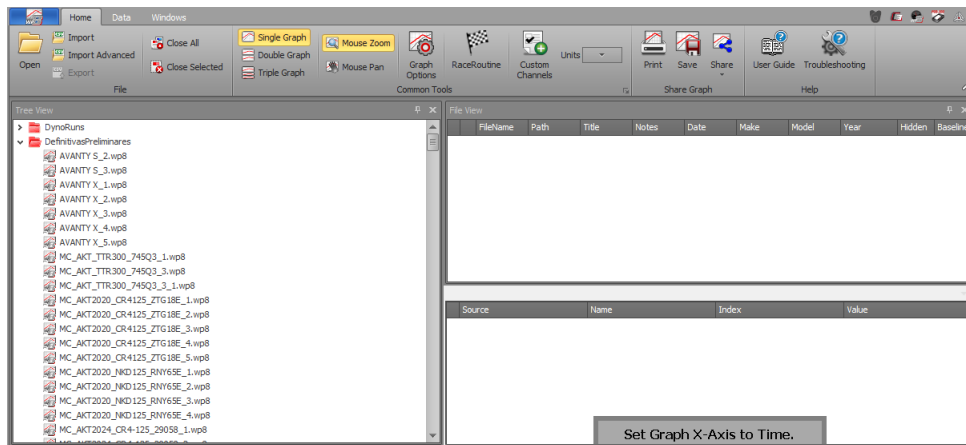


Fig. 23. Interfaz de guardado de datos de DynoJet.

Como ya se mencionó previamente, el software desarrollado en LabVIEW se encarga de recibir las señales conectadas desde la DAQ, tales como las revoluciones del rodillo y la señal de HORIBA. Para operar el software primero se debe ingresar la ruta de carga del ciclo de conducción y luego graficarla con el botón contiguo a la caja de carga. Posteriormente se debe especificar la ruta de guardado antes de iniciar cada prueba, así como también verificar si las señales entregadas por los sensores tienen valores nominales.

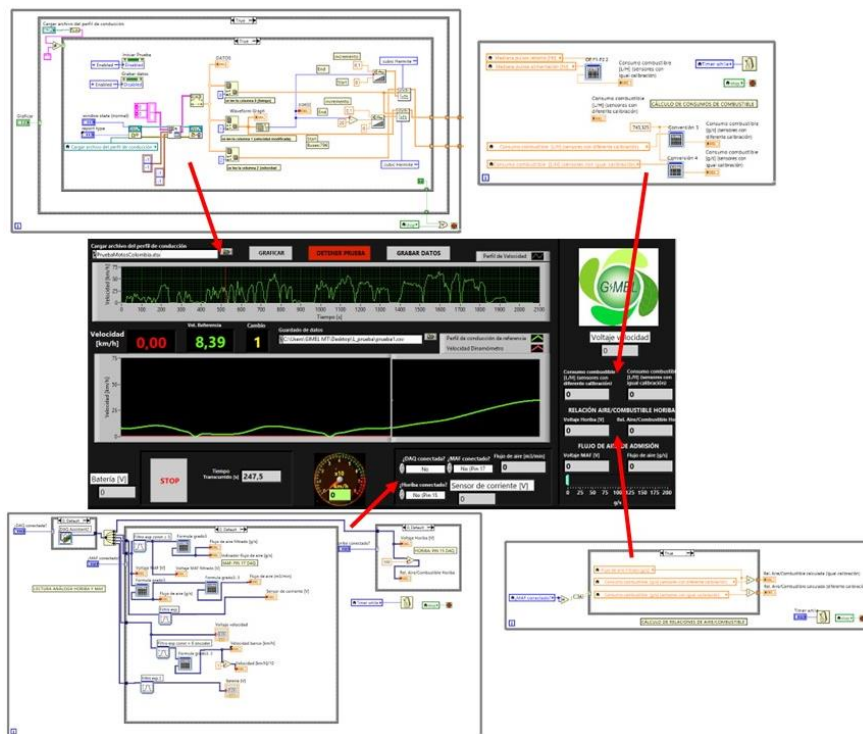


Fig. 24. Interfaz de LabVIEW con sus correspondientes cajas de programación gráfica.

6). *Procedimiento estándar de pruebas*: Una vez finalizada la instalación y verificación de los elementos que componen toda la sala de ensayos se procede con los siguientes pasos:

1. Ubicación de la motocicleta en el banco.
2. Instalación del MAF en la boquilla de entrada de aire de la motocicleta.
3. Instalación del sistema de escape en el tubo de escape de la motocicleta.
4. Conexión del sensor de revoluciones del motor de la motocicleta.
5. Encendido de los computadores y equipos.
6. Comunicación de los tres softwares con sus respectivos sistemas (Software del ParSync, software DynoJet, Software en LabVIEW).
7. Calentamiento de la motocicleta de 10 a 15 minutos.
8. Verificación de funcionamiento nominal de los equipos.
9. Inicio de lectura del ciclo e inicio de guardado de datos.
10. Seguimiento del ciclo de conducción mientras se realiza el guardado de datos.
11. Finalización de la prueba y finalización del guardado de datos.
12. Repetición de la prueba dos veces más para un total de tres como mínimo.
13. Apagado de los sensores y desmonte de la motocicleta.
14. Extracción de datos desde los tres programas de guardado.

Este procedimiento funciona como un estándar al cual se le pueden incluir variaciones en caso de requerirse, por ejemplo, adaptando algún sensor extra, o cambiando métodos de medición del consumo, entre otros.

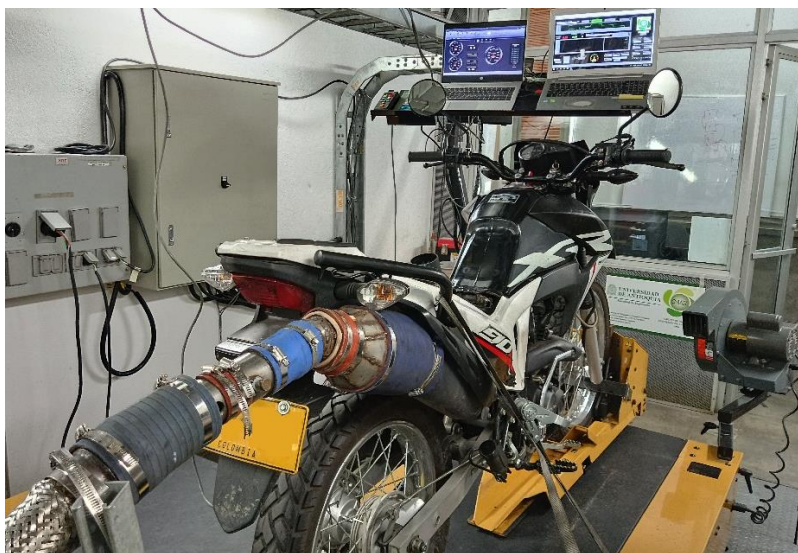


Fig. 25. Pruebas en el banco.

IV. PRUEBA DE REPETIBILIDAD

Este capítulo muestra el procedimiento realizado para evaluar la repetibilidad del banco. Las pruebas se realizaron en base a un ciclo escalonado en el que cada prueba varía de otra por horas y días de realización. Se realizaron un total de siete pruebas y cada una se repitió al menos 3 veces (**TABLA II**). Los datos extraídos se procesaron y se agruparon los valores en intervalos correlacionados a cinco escalones del ciclo base. Los resultados se evaluaron con el criterio estadístico del intervalo de confianza mayor al 95%.

A. Marco teórico.

La repetibilidad de la sala de ensayos del banco de pruebas está sometida a que se cumplan las condiciones: que se realice siempre el mismo procedimiento de medición, que el operario sea el mismo, que los equipamientos y los sensores estén bajo las mismas condiciones durante las pruebas, que el lugar sea el mismo, y, que las repeticiones de cada prueba se realicen de manera pronta en el tiempo. Así la variabilidad de los resultados será inherente al proceso [2].

Las pruebas de emisiones contaminantes normalmente realizadas en el laboratorio tienen variables controlables o medibles y otras variables aleatorias que no logran ser minimizadas, las no controladas son factores cambiantes como la temperatura de la sala, la humedad, la presión atmosférica, la calidad del aire, o los modos de conducción de quien opere el vehículo de pruebas. Para interés de futuras pruebas, se presenta el promedio de los valores registrados por el banco en cuanto a humedad y temperatura durante las pruebas de repetibilidad (**TABLA I**). La presión atmosférica se asume como la de la ciudad de Medellín y en cuanto a los conductores, se entiende que cada uno tiene su propia manera de conducir y por tanto se suele medir la repetibilidad entre 2 o más conductores. Con el fin de evaluar las variables propias del banco se ignora la comparación entre conductores y se realizan pruebas con uno solo.

TABLA I.
VARIABLES DE LA SALA DURANTE LAS PRUEBAS DE REPETIBILIDAD

Variable	Valor
Humedad [%]	32.94 ±0.083
Temperatura [°C]	31.27 ±0.031
Presión Atmosférica [kPa]	85.2

Las variables medidas en las pruebas de repetibilidad fueron las consideradas útiles para estudio e investigación a nivel de laboratorio: los datos entregados por el PEMS, por los sensores del banco y por los sensores extras instalados. Así pues:

- Concentración volumétrica de CO, CO₂ (en % vol.), y NO, NO₂, HC (en ppm).
- Concentración volumétrica de material particulado [mg/m³] y del número de partículas [# /cm³].
- Revoluciones del motor de la motocicleta [RPM].
- Velocidad del rodillo [km/h], que equivale al sensor óptico de RPM.
- Flujo volumétrico de gases [g/s].
- Relación Aire-Combustible [A/F].

El criterio elegido para evaluar la repetibilidad del banco fue el del intervalo de confianza de 95% entre cada prueba, un intervalo de confianza se entiende como el rango en el cual los resultados de una prueba puedan cambiar, manteniendo la confianza estadística sin que la varianza de las muestras difiera de dicho rango [3]. Se define como:

$$\bar{x} - 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Donde:

\bar{x} : Promedio

σ : Desviación estándar

n : Tamaño de la muestra

μ : Media muestral

Para estimar el error experimental de una prueba se requieren como mínimo 3 réplicas de este, a mayor cantidad de pruebas mayor precisión estadística y consistencia en los resultados de las mediciones. Sin embargo, realizar pruebas de laboratorio es costoso y demanda tiempo, por este motivo se realizaron tan solo 7 pruebas, distribuidas en franjas horarias diferentes por diferentes días, donde se evaluaron las variables de los sensores ante condiciones ambientales aleatorias (**TABLA II**). Cada prueba se repitió 3 veces después de un precalentamiento de la motocicleta, cada una inmediatamente después de otra.

TABLA II.
HORARIOS DE LAS PRUEBAS DE REPETIBILIDAD.

Franjas Horarias	Día de Pruebas			
	1	2	3	4
9:00 a. m.				Prueba 5
10:00 a. m.			Prueba 3	
11:00 a. m.		Prueba 2		
12:00 a. m.				Prueba 6
1:00 p. m.			Prueba 4	
2:00 p. m.				Prueba 7
3:00 p. m.	Prueba 1			

Las pruebas se realizaron siguiendo un perfil de velocidad escalonado, basado en el interés de medir valores de manera estacionaria mientras se cambian las condiciones de operación de la motocicleta en subida y posteriormente en bajada, por lo cual progresivamente se incrementó la velocidad en escalones de a 20 kilómetros por hora y luego se decrementó a la misma razón. Como se muestra en la Fig. 26, se distinguen 5 zonas o intervalos de interés, el primero ubicado a 20 km/h, el segundo a 40 km/h, el tercero a 60 km/h, el cuarto nuevamente a 40 km/h y por último el quinto nuevamente a 20 km/h. Cada escalón del ciclo tiene una duración de 120 segundos de los cuales se capturan los datos de las variables de estudio correspondientes a los obtenidos en 50 segundos centrados, estos 5 tramos de 50 segundos fueron los intervalos de estudio y los resultados estuvieron basados en la información obtenida en estos rangos.

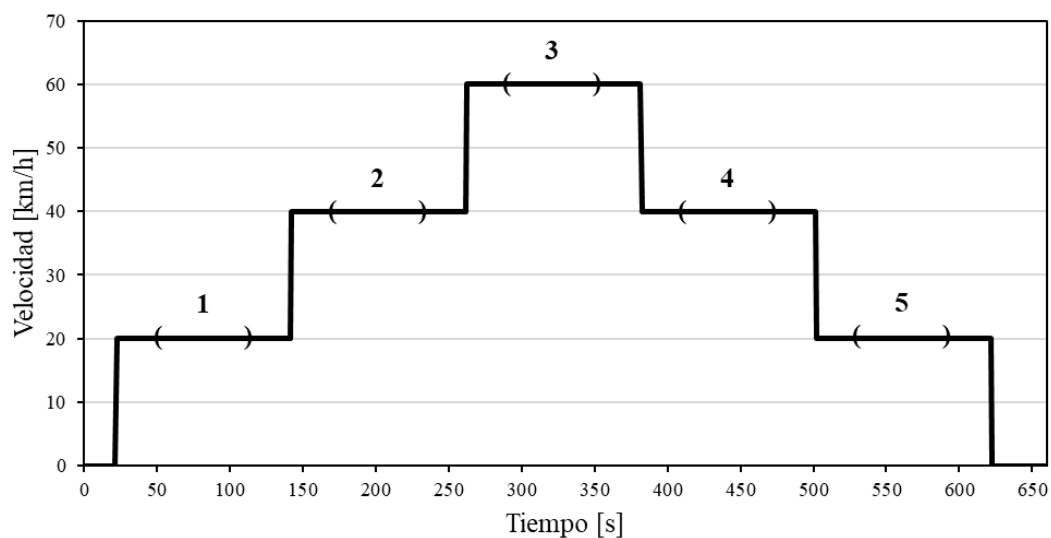


Fig. 26. Ciclo de conducción para pruebas de repetibilidad en motocicletas.

Se distinguen principalmente dos tipos de incertidumbres asociados a una medida repetitiva realizada: La primera corresponde a efectos aleatorios ε que pueden generarse por falta de repetibilidad en sistemas de medición, y la segunda a efectos sistemáticos β que se tienen en cuenta cuando se conocen las fuentes de errores de los instrumentos, métodos de medición, condiciones ambientales o cuando se elaboran técnicas de adquisición de datos [4] [5]. Se toman los tipos de errores de las mediciones dependiendo de su origen y se realiza un cálculo que debe ser incluido en los resultados de laboratorio; así pues, para un nivel de confianza del 95%, la incertidumbre se define como:

$$U(X) = 2\sqrt{\sigma(X)^2 + b(X)^2} \quad (2)$$

Donde:

- U : Incertidumbre total.
- X : Valor de la medición realizada.
- σ : Incertidumbre asociada a efectos aleatorios.
- b : Incertidumbre asociada a efectos sistemáticos.

Ahora bien, las incertidumbres aleatorias y sistemáticas se definen respectivamente como:

$$\sigma(X) = \sqrt{\frac{1}{N_p - 1} \sum_{j=1}^{N_p} (X_j - \bar{X})^2} \quad \wedge \quad b(X) = \sqrt{\sum_{k=1}^K (b(X_k))^2} \quad (3), (4)$$

Donde, para σ :

- N_p : Total de veces que se repitió la medición X .
- \bar{X} : Valor promedio de la población de medidas realizadas.

Y, para b :

- K : Total de veces que un error sistemático es conocido en la medida.
- $b(X_k)$: Desviaciones estándar asociadas a cada error sistemático.

Los valores de los errores sistemáticos asociados se toman de los valores de la exactitud aportados por *datasheets* y *brochures* de los sensores y equipos. Estos valores de interés se recopilan en la **TABLA III**.

TABLA III.
ERRORES SISTEMÁTICOS ASOCIADOS A CADA VARIABLE

Variable	Valor de Error
CO [% Vol.]	$\pm 0,02$
CO ₂ [% Vol.]	$\pm 0,3$
NO [ppm]	± 15
NO ₂ [ppm]	± 5
HC [ppm]	± 8
PM [mg/m ³]	n.d.
PN [# /cm ³]	± 25000
Rev. Motor [RPM]	$\pm 0,1$
Vel. Rodillo [km/h]	$\pm 0,016$
Celda de carga [%]	$\pm 0,05$
MAF [%]	± 4
HORIBA [A/F]	$\pm 0,3 \sim \pm 1$

Nota: n.d. = no disponible.

B. Metodología.

La puesta en marcha de las pruebas de repetibilidad requirió seguir el mismo “procedimiento estándar de pruebas” enumerado en el apartado <III.B.6.> (**Página 29**) de este documento. Para realizarlas se contó con una motocicleta de pruebas suministrada por la empresa Honda, modelo XR190 del año 2022 y con inyección electrónica. Luego de todas las pruebas se recopiló la información obtenida desde los tres centros de datos (PEMS, Banco y LabVIEW). Se escribió un código en lenguaje de programación *Python* utilizando librerías de *NumPy* y *Pandas* para el procesamiento de datos, donde primeramente se homogenizaron los tipos de datos en *dataframes*, puesto que los archivos provenientes de los programas LabVIEW y PEMS tienen formato *CSV, pero los archivos provenientes del banco tienen formato *TXT. De cada hoja de datos se realizó la extracción de todas las columnas y se almacenaron en un solo archivo para cada una de las 3 repeticiones de las 7 pruebas, en total 21 archivos.

Luego se tomaron los 21 archivos, se separaron las columnas de interés y se escogieron los 5 intervalos de estudio para cada columna, de cada intervalo se calculó el promedio y su desviación estándar. Se seleccionaron los intervalos que presentaron fallas, como por ejemplo rangos

inestables o valores negativos y se excluyeron del *dataframe*. Posteriormente se promediaron los 3 valores correspondientes a los promedios de cada intervalo para cada repetición en cada prueba, para un total de 7 promedios separados por 5 intervalos. Por último, se promediaron estos 7 promedios para tener un solo resultado general de cada variable, separada en 5 intervalos según la marcha de la motocicleta. A estos resultados se les realizó el análisis del intervalo de confianza, definiendo así para cada punto los rangos en que los resultados de pruebas futuras puedan considerarse válidos.

C. Resultados

Luego de realizar el procesamiento de datos, se seleccionaron las variables de mayor interés con el fin de comparar el comportamiento de los resultados separados por pruebas, dependiendo del intervalo proveniente se observaron tendencias que pueden dar información relevante de las emisiones contaminantes en motocicletas. Se seleccionó el dióxido de carbono -CO₂, el material particulado -PM, los hidrocarburos sin quemar -HC y el monóxido de nitrógeno -NO, ya que suelen ser las especies contaminantes más relevantes al hacer estudio de gases de escape en motores de combustión.

En la Fig. 27 se observa el comportamiento de los datos de dióxido de carbono obtenidos por el PEMS con tecnología infrarroja no dispersiva -NDIR. La gráfica compara los valores obtenidos de cada una de las pruebas, pero también compara los promedios totales entre los intervalos de estudio. Se destaca que la prueba 7 presentó en general menores valores de CO₂, sin embargo, sus valores no se alejan del resto de pruebas, solo el tercer intervalo de estudio, correspondiente a la marcha más alta (de 60 km/h) muestra una significativa anomalía en dicha prueba y su valor se puede considerar aislado de su tendencia. También se subraya que existe una zona alrededor de 14.2% de concentración de volumen de CO₂ en que el rango de todos los intervalos se interseca, a pesar de que esta zona de intersección no es muy amplia, en ella pueden encontrarse estadísticamente suficientes valores de emisiones de CO₂ sin importar a qué marcha viaje la motocicleta de pruebas.

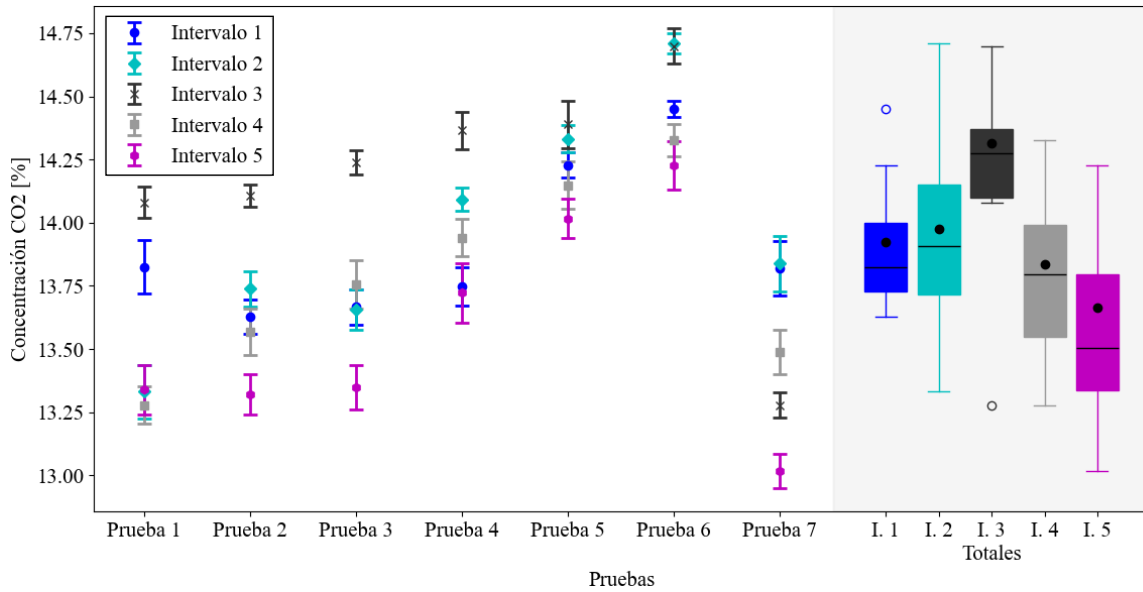


Fig. 27. Comparativa de resultados para el CO2.

En la Fig. 28 se presenta el resultado para el material particulado -PM, también tomado del PEMS por medio de sensores de ionización, opacidad y dispersión. De manera similar al CO2, el PM posee una zona de intersección de resultados entre intervalos de estudio, con la diferencia que los rangos de fluctuación parecen ser más amplios. Se debe mencionar que durante la realización de la prueba 2, el PEMS presento un error justo después de terminar el intervalo 3 de estudio de la primera repetición, los resultados guardados de PM a partir de ese punto tanto para las repeticiones 2 y 3 fueron 0. Este error no afectó otros sensores, sin embargo, no se contó con valores para analizar en los intervalos 4 y 5 de la prueba 2.

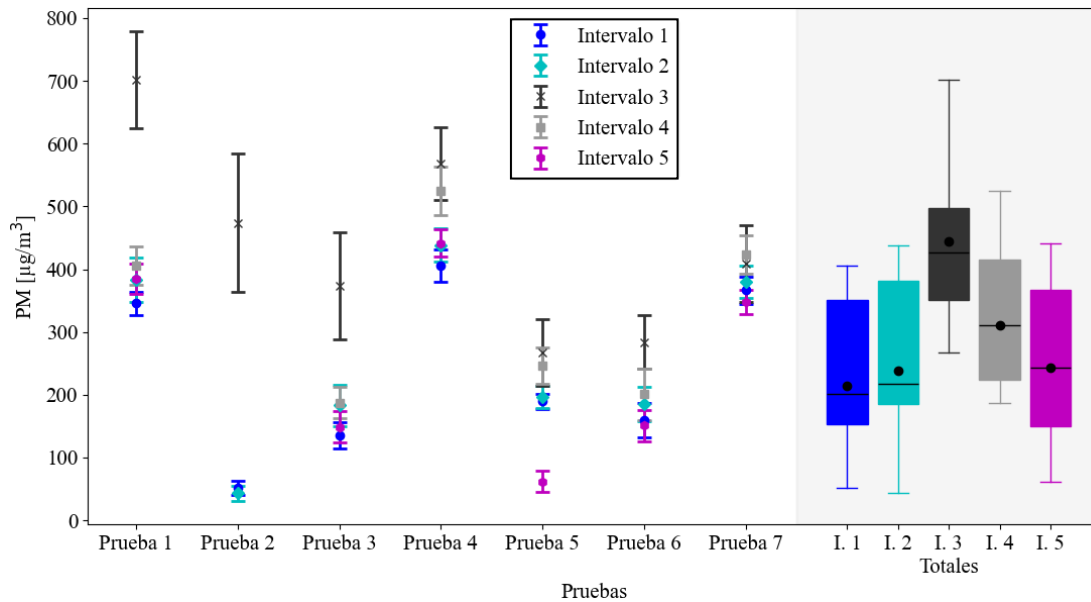


Fig. 28. Comparativa de resultados para PM.

La Fig. 29 muestra el resultado de los hidrocarburos -HC obtenidos con NDIR del PEMS. Se observa una división más marcada entre los resultados de las marchas de incremento de velocidad (intervalos de estudio 1, 2 y 3) respecto a las marchas de bajada (intervalos de estudio 4 y 5). También se observa una mayor presencia de puntos atípicos que reducen la amplitud de los rangos, generando la separación de resultados ya mencionada.

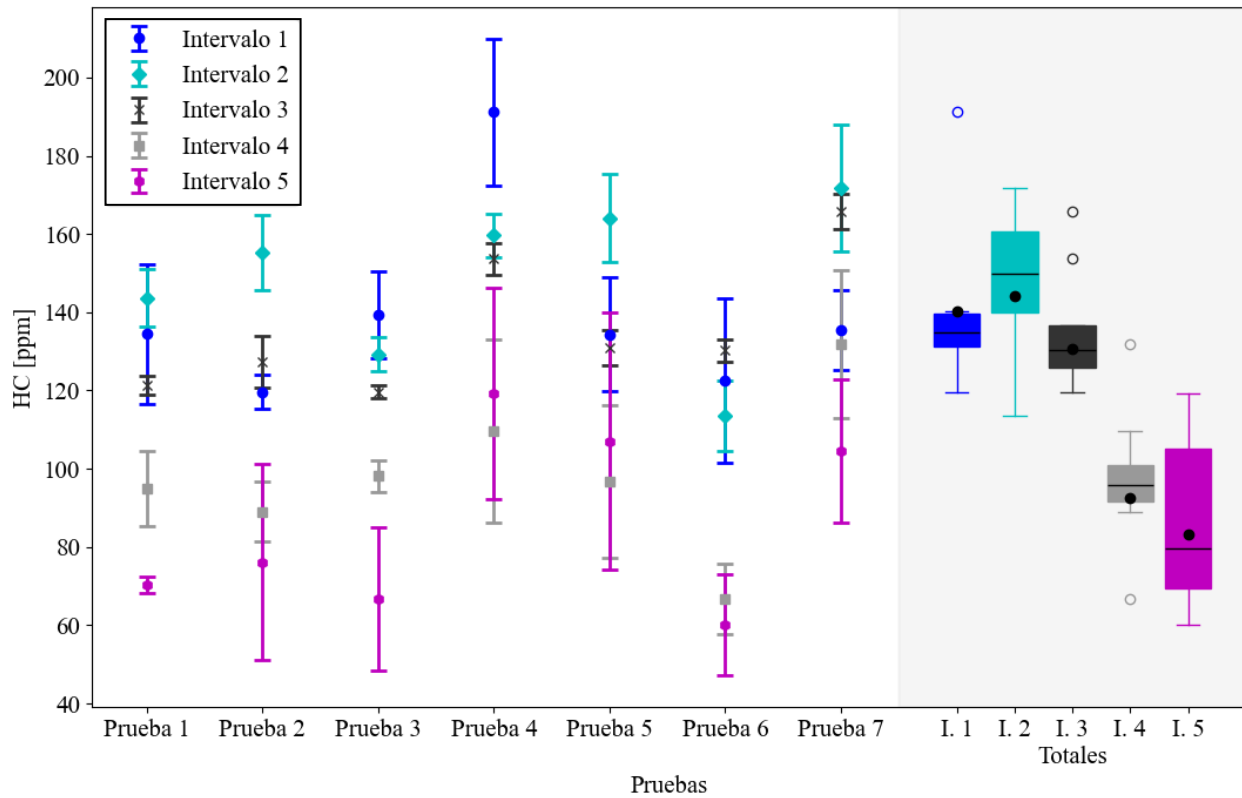


Fig. 29. Comparativa de resultados para HC.

La Fig. 30 presenta los resultados para el NO, medido por el PEMS con celda electroquímica. En todas las pruebas se observa un aumento significativo en las emisiones de NO para el intervalo de estudio 3 que representa una marcha de 60 km/h. No solo el aumento se ve incrementado, sino también la inestabilidad de los valores reportados, representados por medio del amplio rango de puntos, indicando una tendencia a que los NO_x se aumenten descontroladamente a altas velocidades y a altas temperaturas del motor.

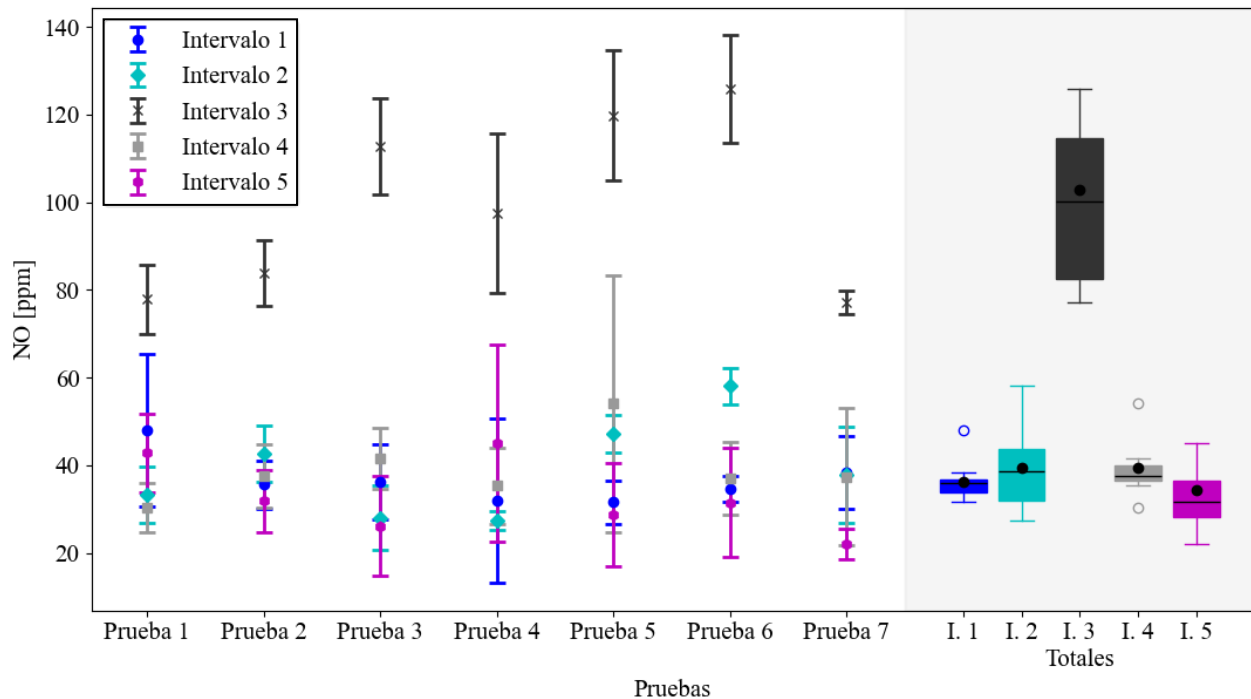


Fig. 30. Comparativa de resultados para NO.

Utilizando la ecuación 1 para cada resultado de cada variable y en cada promedio, se obtiene la **TABLA IV**, esta tabla muestra los rangos (o intervalos) en los cuales los resultados de futuras pruebas deben localizarse. Teóricamente, estos intervalos aseguran un 95% de confiabilidad en la repetibilidad para cada nueva prueba que se realice a futuro bajo condiciones similares a las presentadas en este trabajo. Los rangos presentados se separan en los mismos intervalos de estudio y muestran un mapeo de valores de operación y emisiones de la motocicleta de pruebas.

TABLE IV.
RESULTADOS DE LOS INTERVALOS DE CONFIANZA

Variable	Intervalo 1	Intervalo 2	Intervalo 3	Intervalo 4	Intervalo 5
Velocidad [km/h]	[19.77, 19.97]	[39.72, 39.92]	[59.78, 59.94]	[40.00, 40.22]	[20.07, 20.27]
MAF [g/s]	[1.50, 1.57]	[2.54, 2.64]	[4.13, 4.25]	[2.36, 2.49]	[1.58, 1.67]
Horiba [A/F]	[14.83, 15.02]	[14.19, 14.38]	[13.85, 14.03]	[14.1, 14.29]	[14.57, 14.78]
PM [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	[208.37, 220.55]	[230.22, 246.36]	[422.02, 467.26]	[300.88, 319.2]	[236.39, 248.99]
PN [#/ cm^3]	[2088327.05, 2148855.29]	[2305715.25, 2398232.4]	[3052818.5, 3192844.22]	[2512868.01, 2604239.56]	[2290167.37, 2357418.81]
NO ₂ [ppm]	[0.26, 0.28]	[0.24, 0.26]	[0.24, 0.26]	[0.27, 0.28]	[0.28, 0.3]
NO [ppm]	[32.85, 39.80]	[37.77, 41.06]	[99.16, 106.75]	[35.16, 43.49]	[30.32, 38.35]
CO ₂ [% Vol.]	[13.90, 13.95]	[13.96, 14]	[14.29, 14.33]	[13.81, 13.86]	[13.63, 13.69]
CO [% Vol.]	[0.24, 0.27]	[0.38, 0.42]	[0.47, 0.51]	[0.4, 0.46]	[0.22, 0.26]
HC [ppm]	[135.53, 144.99]	[141.75, 146.73]	[129.35, 131.78]	[88.3, 96.76]	[76.54, 89.93]
O ₂ [% Vol.]	[3481.77, 3483.44]	[3490.52, 3491.57]	[3508.74, 3509.69]	[3499.09, 3500.37]	[3491.93, 3493.47]
Rev. Motor [RPM]	[3512.15, 3650.47]	[4348.18, 4455.22]	[5123.75, 5203.87]	[4171.63, 4340.05]	[3741.49, 3938.62]
Torque [Nm]	[9.12, 9.22]	[11.56, 11.66]	[12.45, 12.56]	[11.03, 11.13]	[8.59, 8.7]

Nota: Intervalos de confianza para cada intervalo de estudio.

V. CONCLUSIONES

La instalación de una sala de pruebas de emisiones de laboratorio requiere de la integración de gran cantidad de sensores. Es central y fundamental el equipo de medición de emisiones contaminantes y partículas, puesto que la mayoría de las variables de interés resultan de este equipo. La confiabilidad de los equipos y sensores está ligada a la periodicidad en el mantenimiento, verificación y calibración, por tanto, es prioridad para quien opere la sala estar al tanto de los tiempos y del estado de los equipos en todo momento, así como conocer los manuales de operación y *datasheets* de cada sensor. Montar un espacio de laboratorio con las características del LMT requiere la interdisciplinariedad de personas con conocimientos en mecánica, electrónica, química, programación, así como también que cuenten con habilidades que les permitan resolver todo tipo de retos y dificultades que se presenten en este contexto.

En este documento está recopilada la información necesaria para recrear un espacio similar en cualquier otro lugar: desde los equipos debidamente detallados, como los procedimientos a realizar en cada fase de la instalación. Las pruebas de repetibilidad sientan la base para describir y observar el correcto resultado de las variables del banco, estas plantean los rangos de calibración del conjunto de los equipos y sensores instalados, con ellas se pueden comprobar fallos o valores erróneos. Toda sala de pruebas de laboratorio debe contar con un esquema para pruebas de repetibilidad que se realicen periódicamente. Se sugiere que la periodicidad de las pruebas de repetibilidad para un banco de rodillos de motocicletas sea de una vez por año, sin embargo, esta sugerencia puede variar dependiendo del nivel de trabajo al que se vea sometido el banco.

El análisis de los resultados presentados en las pruebas de repetibilidad solo toma los datos de los intervalos estables, es decir, la motocicleta alcanzaba una velocidad y durante 2 minutos permanecía lo más constante posible permitiendo que las mediciones obtenidas oscilaran amortiguadamente hasta alcanzar también unos valores estables para que los resultados se considerasen en un modo estacionario y no transitorio.

Los resultados comparativos para CO₂ y PM (Fig. 27 y Fig. 28 respectivamente), muestran zonas de intersección en donde es posible encontrar puntos sin importar a qué velocidad viaje la motocicleta. Puesto que el ciclo escalonado de pruebas de repetibilidad (Fig. 26) toma como base los rangos de velocidades de los ciclos de conducción urbanos (Fig. 1), los cuales representan la manera de conducir en las ciudades, y las velocidades no superan los 60 km/h, es posible plantear la hipótesis que por lo menos para estas 2 especies contaminantes sus emisiones presentarán cierta

estabilidad a lo largo de toda medición. Sucede de manera diferente para el caso de los HC (Fig. 29), donde se muestra la tendencia a emitir más mientras la motocicleta va subiendo la marcha y para el NO (Fig. 30) directamente existe una línea entre los 40 km/h y los 60 km/h en donde las emisiones se incrementan de manera descontrolada.

Se indagó en los resultados encontrados en la relación de aire combustible entregada por el Horiba Mexa 730 λ , ya que reporta independientemente del intervalo de estudio unos valores muy cercanos a la relación estequiométrica de la combustión de la gasolina, esta medida está sujeta a las correcciones automáticas que genera en tiempo real la computadora de la motocicleta y por tanto es factible decir que están fijadas por el mismo sistema de la motocicleta, por tanto se cuestiona la pertinencia de realizar un análisis profundo de dicha variable.

De este trabajo se concluye que luego de realizar las pruebas y el análisis de resultados, todos los rangos encontrados están dentro de sus intervalos correctos de funcionamiento, el tamaño de estos aparenta ser reducido, lo cual demuestra el rigor alcanzado en el procedimiento descrito. Se logró desarrollar una metodología para determinar la repetibilidad de una sala con las características expuestas. Este diseño de repetibilidad puede ser aplicado a otros laboratorios con similares características y, en general, este documento puede servir de referencia para futuros manuales operativos de instalaciones en laboratorios.

VI. RECOMENDACIONES

Cabría plantear un posible análisis de los rangos medidos que no se incluyeron en los resultados presentados, estos rangos consistirían en los puntos de aceleración y desaceleración de la motocicleta donde se presentan posibles picos de emisiones, cambios de marcha y por tanto variaciones en la combustión interna del motor y en las emisiones resultantes.

Se plantea la posibilidad de realizar posteriores estudios donde se definan los límites de inestabilidad del NO, donde se agrupen los comportamientos observados, así como también donde se comparen resultados entre familias de motocicletas.

REFERENCIAS

- [1] Dynojet Research, Inc, «Dynojet,» 09 2020. [En línea]. Available: <https://www.dynojet.com/amfile/file/download/file/188/category/259/>. [Último acceso: 07 2023].
- [2] International Organization for Standardization, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results (ISO 5727-1), Vernier, Suiza, 2023.
- [3] J. L. Devore, Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias, Séptima ed., 2008.
- [4] O. D. Hincapié, «Diseño e implementación de un modelo para el cálculo de incertidumbres de emisiones contaminantes en pruebas dinámicas y estáticas de fuentes móviles,» Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, 2019.
- [5] P. Bielaczyc y A. Szczotka, «Analysis of uncertainty of the emission measurement of gaseous pollutant on chassis dynamometer,» SAE International, Detroit, Michigan, 2007.

ANEXOS

Anexo A. Características técnicas del banco de rodillos

Parámetros eléctricos	
Requisito de energía	Circuito monofásico de 240V y 30 amperios.
Voltaje	Normal: 240 VCA Mín./Máx.: 215 VCA / 245 VCA
Corriente	30 amperios
Consumo de energía	7200 vatios
Cable de alimentación	N/P 76950401 Longitud: 3,048 m (10 pies) Enchufe: IEC de tres clavijas Toma: IEC de tres clavijas con tierra de 30A
Parámetros ambientales	
Temperatura	Operación mín./máx.: 10°C / 50°C Almacenamiento mín./máx.: 0°C / 60°C
Humedad	0 a 95% sin condensación.
Especificaciones del chasis	
Longitud	Con carrete estándar: 271,78 cm (107 pulg.) Con carrete extendido: 322,58 cm (127 pulg.) Con rampa: 490,22 cm (193 pulg.)
Altura	45,97 cm (18,1 pulg.)
Ancho	179,6 cm (70,7 pulg.)
Peso	1133,98 kg (2500 lb)
Rodillo	Diámetro: 45,72 cm (18 pulg.) Longitud: 50,8 cm (20 pulg.)
Potencia máxima	373 kW (500 hp)
Velocidad máxima	322 km/h (200 mph)
Longitud motocicleta	Máximo con carrete estándar: 213 cm (84 pulg.) Máximo con carrete extendido: 256,54 cm (101 pulg.)
Exactitud (precisión) Celda de carga	± 0,05 [% F.S.] de no linealidad ± 0,02 [% R.O.] de no repetibilidad
Exactitud (precisión) Velocidad	± 0,1 [RPM] ± 0.016 [km/h]

Anexo B. Características técnicas del ParSync Flex

Especificaciones del dispositivo				
Longitud	42 cm			
Altura	15,5 cm			
Ancho	29,5 cm			
Peso	6,2 kg (13,7 lb)			
Consumo eléctrico	En calentamiento: 5A, 100W En uso normal: 2A, 38W			
Alimentación eléctrica	Pack de baterías de iones de litio a 18V			
Parámetros de medición				
	Rango de medición	Tiempo de respuesta T ₉₀	Resolución	Repetibilidad
Óxido nítrico (NO)	0 - 5000 ppm	< 5 segs.	1-2 ppm	2% de señal
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	0 - 300 ppm	< 3,5 segs.	0,1 ppm	2% de señal
	Rango de medición	Tiempo de respuesta T ₉₀	Exactitud	Repetibilidad
Dióxido de carbono (CO ₂)	0 - 20 %	< 3,5 segs.	±0,3% absoluto ±3% relativo	±0,1% absoluto ±2% relativo
Monóxido de carbono (CO)	0 - 5 %	< 3,5 segs.	±0,02% absoluto ±3% relativo	±0,02% absoluto ±2% relativo
Hidrocarburo (HC)	0 - 4000 ppm	< 3,5 segs.	±8ppm absoluto ±3% relativo	±6ppm absoluto ±2% relativo
Oxígeno (O ₂)	0 - 100 %	< 6 segs.	±0,1% absoluto ±2% relativo	±0,1% absoluto ±2% relativo
	Rango de tamaño	Sensor de Ionización	Sensor de Opacidad	Sensor de Dispersión
Material particulado (PM)	10 a 10000 nm	Ultrafino: 10 a 250 nm	Mediano: 80 a 7000 nm	Grueso: 250 a 10000 nm