

PhyPhox como banco de pruebas para motos

María Camila Zuluaga Duque ^a, Camilo Andrés Ospina Osorio ^b, Juan Pablo Restrepo Pérez ^c, Natalia Piedrahita Vélez ^d, Santiago Ramírez López ^e, Sebastián Pineda Ospina ^f,

Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. ^a mzuluagad@unal.edu.co, ^b caospina@unal.edu.co, ^c jrestrepo@unal.edu.co, ^d 7napiedrahitave@unal.edu.co, ^e saramirezl@unal.edu.co, ^f sepinedaos@unal.edu.co

Abstract

This research is conducted in order to determine the capabilities that a mobile phone has, noting that the amount of sensor and data and therefore the number of quantities that can be measured is big. The principal objective is to compare the features declared on the catalog of a motorcycle, against data obtained using a smartphone as principal measurement instrument. The futures that are calculated and compared are the torque of the engine, the decibels of the exhaust and the power of the brakes. Also, we can obtain data for acceleration, velocity and distance traveled during the tests.

Keywords: Sensors; Smartphone; Torque, Acceleration; Motorcycle; Brakes; Tests; PhyPhox.

Resumen

Esta investigación se conduce con el fin de determinar qué capacidad de medición y recolección de datos tiene un smartphone, sabiendo que la cantidad de sensores y datos y por consiguiente las cantidades medibles son elevadas. El principal objetivo es comparar las prestaciones declaradas en el catálogo de algunas motocicletas, contra datos obtenidos usando un smartphone como principal instrumento de medición. Las prestaciones calculadas y comparadas son el torque del motor, los decibeles del exhosto y la potencia de frenado. Además, también se obtienen datos de aceleración, velocidad y distancia recorrida durante la prueba.

Palabras clave: Sensores; Smartphone; Torque; Aceleración; Motocicleta; Pruebas; PhyPhox.

1 Introducción

Para caracterizar el motor de una motocicleta se utilizan instrumentos llamados dinamómetros de rodillos, un dinamómetro hace referencia a un elemento capaz de medir fuerzas [1].

Estos elementos se utilizan para medir principalmente la potencia de los vehículos al posicionar la llanta trasera sobre los rodillos, la cual transmite la potencia del motor a estos. Los rodillos miden el par de fuerza (torque) que se les aplica y la velocidad angular, permitiendo calcular así a potencia.

Aunque la función principal es aquella de medir fuerzas, otras mediciones para la caracterización del vehículo pueden ser determinadas. Entre estas se encuentran [2]:

- Verificación de las transmisiones (Deslizamiento del embrague)
- Medición de potencia escalonada.
- Prueba de frenado parcial.
- Comprobación del sistema de refrigeración (Radiador, bombilla, válvula termostática).
- Diagnóstico con analizadores de gases de escape bajo carga.
- Frenado a velocidad constante.
- Frenado con fuerza constante.
- Frenado según carga constante.
- Simulación de las condiciones del camino (Ascensiones, resistencia al aire, peso).
- Frenado de velocidad constante.
- Pruebas de durabilidad e inspecciones.
- Mapeo de la ECU a todas las velocidades del motor.
- Diagnóstico con instrumentos conectados en toma de diagnóstico en condiciones de carretera.

Aunque cumple a cabalidad sus funciones, el precio de estos instrumentos está alrededor de 35.000 dólares (130'000.000 COP) [2], por lo que existe una barrera de entrada para investigadores bastante elevada, que difícilmente puede ser viable económicamente en proyectos pequeños y/o medianos. Esto genera la necesidad de métodos de medición a precios asequibles que sean además confiables y repetibles.

Acá es donde entran en juego los teléfonos inteligentes, ya que, al integrar una buena cantidad de sensores para su uso normal con un precio relativamente económico, se presentan teóricamente como una alternativa capaz de obtener datos correspondientes a la caracterización de una motocicleta.

Para recoger los datos que arrojan los sensores integrados en los teléfonos, es necesaria una aplicación que cumpla este trabajo. Aunque en el mercado existen varias de estas suites de recopilación de datos como Science Journal by Google [3] y Physics Toolbox Sensor Suite [4], la aplicación PhyPhox [5] permite crear experimentos según las necesidades del experimentador, dando gran versatilidad a la toma de datos. Por lo que esta última fue escogida para el desarrollo de este trabajo.

Según sus creadores, PhyPhox es una aplicación que permite convertir un smartphone (tanto iPhone como Android) en un laboratorio de física, gracias a los sensores integrados en el mismo [5]. Algunas de las variables que se logran medir son:

- Velocidad.
- Presión.
- Orientación.
- Aceleración.
- Brillo.
- Magnetismo

A pesar de su gran potencial en la ayuda para toma de decisiones ingenieriles [6], se tienen registros de Phyphox únicamente en el ámbito académico, específicamente en la enseñanza de la física. Algunos de los trabajos más relevantes son:

- Simulación de detección de exoplanetas por el método de tránsito [7].
- Análisis de rotaciones y efecto Coriolis en atracciones de parques de diversiones [8].
- Cálculo de la velocidad de sonido [9].
- Entre otros [10][11][12][13][14].

Teniendo en mente lo logrado en estudios anteriores con la aplicación y la necesidad de métodos de medición económicos, fiables y repetibles en la caracterización de vehículos motorizados, es natural preguntarse si los dispositivos móviles pueden satisfacer esta demanda. En este artículo se tratará de abordar esta pregunta desde el punto de vista teórico y técnico, contrastando los resultados con datos experimentales.

En la primera sección del documento (2. Materiales y métodos) se habla de las características técnicas de las motocicletas y de los smartphones utilizados en las pruebas, además de la descripción de las pruebas de caracterización a realizar. Continuando, en la sección 3 (3. Resultados) se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de campo, al igual que su análisis. Por último (en 4. Conclusiones), se discute acerca de los resultados y se responde la pregunta planteada en el párrafo anterior respecto a si los dispositivos móviles pueden

suplir la necesidad de mediciones baratas, viables y repetibles, dando resultados favorables bajo ciertas condiciones.

2 Materiales y métodos

2.1 Materiales

2.1.1 Vehículos

Para este trabajo se dispuso de dos motocicletas que se encuentran caracterizadas en las siguientes tablas:

Tabla 1.
Caracterización motocicleta Boxer.

Línea	Bóxer BM100
Motor	4 tiempos 1 cilindro
Cilindrada	94,4 cc.
Transmisión	4 velocidades
Arranque	Eléctrico y patada
Potencia	7,6 HP @ 8000 RPM
Torque	7,5 N-m @ 6000 RPM
Peso en seco	118 kg
Freno trasero	Campana de 130 mm
Reducción primaria	75-21
Reducción primera	34-12
Reducción segunda	36-15

Fuente: [15].

Tabla 2.
Caracterización rueda delantera Boxer.

4 Rueda delantera 80/90 R18	
Rin	18 pulg
Ancho	3,15 pulg
Circunferencia	74,36 pulg
Altura del perfil	2,83 pulg
Diámetro	23,67 pulg

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.
Caracterización rueda trasera Boxer.

Rueda trasera 90/90 R18	
Rin	18 pulg
Ancho	3,54 pulg
Circunferencia	76,59 pulg
Altura del perfil	3,19 pulg
Diámetro	24,38 pulg

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.
Caracterización motocicleta KTM 350 exc.

Línea	KTM 350 exc
Motor	4 tiempos 1 cilindro
Cilindrada	349.7 cc.
Transmisión	6 velocidades
Arranque	Eléctrico
Potencia	34,74 HP @ 8000 RPM
Torque	22,43 N-m @ 6000 RPM
Peso en seco	103,8 kg
Freno delantero	Disco lobulado Ø 260mm
Freno trasero	Disco lobulado Ø 220mm
Reducción primaria	75-21
Reducción primera	34-12

Fuente: [16].

Tabla 5.
Caracterización rueda delantera KTM 350 exc.

Rueda delantera 90/90 R21	
Rin	21 pulg
Ancho	3,54 pulg
Circunferencia	86,01 pulg
Altura del perfil	3,19 pulg
Diámetro	27,38 pulg

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.
Caracterización rueda trasera KTM 350 exc.

Rueda trasera 110/100 R18	
Rin	18 pulg
Ancho	4,33 pulg
Circunferencia	83,76 pulg
Altura del perfil	4,33 pulg
Diámetro	26,66 pulg

Fuente: Elaboración propia.

2.1.2 Sensores de los dispositivos

Los experimentos propuestos para las pruebas son “aceleración sin g” y “amplitud de audio”, estos utilizan el acelerómetro y el micrófono integrado respectivamente. En la siguiente tabla se comparan los distintos sensores de aceleración utilizados en las pruebas, mientras que datos correspondientes a los micrófonos no fueron posibles obtenerlos.

Tabla 7.
Caracterización sensors.

ACELERACIÓN SIN G				
Modelo	iPhone X	iPhone SE	Samsung A30	Xiaomi Mi A3
Frecuencia (Hz)	99.2	100.4	97.1	202
Desviación Estándar (m/s ²)	0.006	0.004	0.007	0.023

Fuente: Elaboración propia.

Es importante recalcar que la propia aplicación no recomienda utilizar los micrófonos como sensores, debido en parte a que la gran cantidad de referencias que se encuentran en el mercado hace imposible su caracterización. El mensaje completo escrito por los mismos desarrolladores se encuentra en la siguiente imagen.

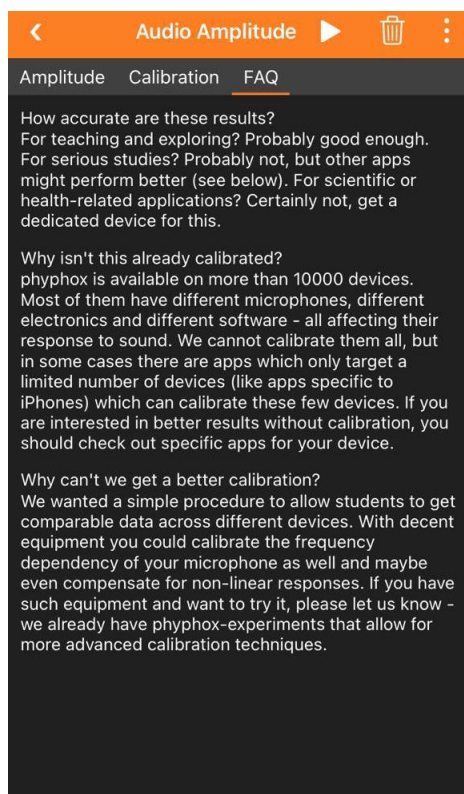


Fig. 1. Advertencia Phyphox acerca de la amplitud de sonido
Fuente: Elaboración propia.

2.2 Puesta a punto

Se realizaron tres tipos de pruebas con el objetivo de caracterizar la calidad de los datos registrados con cada uno de los teléfonos inteligentes.

La puesta a punto se realizó de la siguiente forma, con ayuda de una tabla rígida se desplazaron tres dispositivos móviles simultáneamente una distancia de 20 cm:

- iPhone X.
- iPhone SE.
- Samsung A30.

Esto se repitió para cada una de las tres direcciones “X”, “Y” y “Z”. Los teléfonos se posicionaron con la pantalla en dirección hacia arriba como se observa en las próximas figuras. Al asegurar el mismo movimiento para los tres dispositivos, se hizo posible contrastar sus resultados para un mejor entendimiento de la toma de datos.

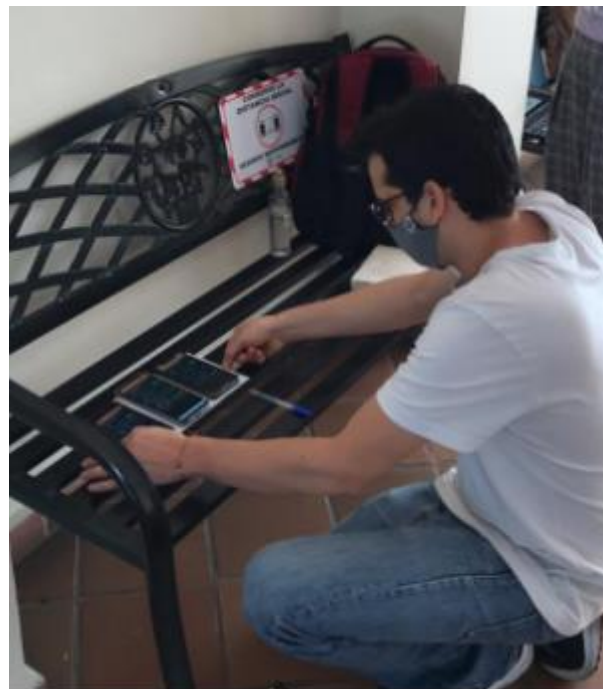


Fig. 2. Puesta a punto desplazamiento en el eje x.
Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, se realizaron las siguientes dos pruebas de desplazamiento en el eje “Y” y “Z”.

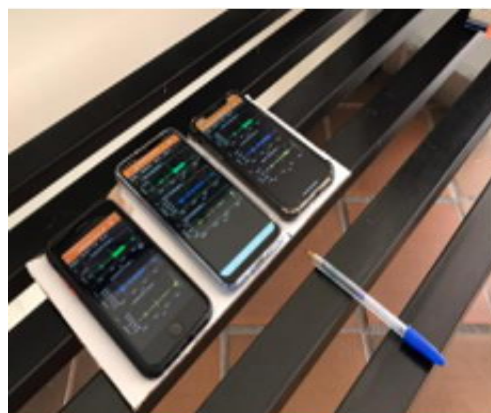


Fig. 3. Puesta a punto desplazamiento en el eje Y y Z
Fuente: Elaboración propia.

2.3 Velocidad, aceleración y par motor

2.3.1 ¿Qué se quiere medir?

Se desea medir, por medio de la prueba de aceleración predeterminada de Phyphox, la aceleración en determinado recorrido y por medio de esta obtener velocidad, distancia y par motor.

2.3.2 ¿Por qué se quiere medir?

El torque del vehículo es uno de los parámetros más importantes, ya que este determina la forma en la que el vehículo acelera o que tanta capacidad de carga y arrastre tiene. Como cada referencia de motocicleta tiene una configuración distinta en cuanto a su relación de marchas y su cilindraje, se tomó como punto de partida la aceleración y posteriormente se realizó un análisis con el cual fue posible obtener el par motor que el vehículo entrega.

2.3.3 ¿Cómo se va a medir?

El proceso de obtención de datos parte del uso del celular como implemento de medición y recolección de datos, el cual mediante los sensores de aceleración recopila la información de estos. Además de esto, es necesario tener la aplicación de Phyphox la cual se encarga del almacenamiento y la compilación de datos, que luego exportamos en formato Excel.

El proceso a seguir para la medición de la aceleración de una motocicleta es el siguiente:

1. Identificar la dirección de los ejes X, Y y Z del dispositivo, ya que se debe saber cuál de los 3 ejes va a recoger los datos de aceleración, debido a que la aceleración que se desea registrar es unidireccional (solo se presenta en una dirección). Hacer una correcta identificación de los ejes, permite identificar en el Excel los valores que se van a analizar posteriormente.
2. Se posiciona el celular en un lugar de la moto el cual sea lo más horizontal posible y se mantiene fijo con la ayuda de cinta o un porta celulares. De utilizar un porta celulares, es necesario revisar la disposición de los ejes y verificar que el móvil no quede con alguna orientación indeseada, es por esto que se recomienda usar otro método de fijación a la moto.
3. Con el celular ya configurado y ubicado, se procede a seleccionar en Phyphox el experimento con nombre "Aceleración sin gravedad" el cual recolecta datos de aceleración sin considerar las afectaciones que cause la gravedad.
4. Se da inicio a la recolección de datos.
5. Es clave fijar una velocidad objetivo partiendo desde el reposo, la cual será el punto final del proceso de aceleración que además se respetará para todas las pruebas que se realicen. Además de esto es indispensable cronometrar la duración de la aceleración ya que no es posible detener la recolección mientras la moto está en movimiento.
6. Finalizada la recolección de datos, se exportan los datos de Phyphox al computador, en el cual se

extraen los datos de aceleración en el eje establecido, tomando únicamente los datos que vayan desde el inicio de la prueba hasta el tiempo indicado por el cronometro, ya que el resto de los datos serán desaceleraciones que no corresponden a este análisis.

7. Para este estudio en particular, se desarrolló un código en Matlab el cual permite analizar los datos y graficarlos para obtener distancias, velocidades, aceleraciones, momentos rotacionales de la llanta trasera y energías. Note que los valores que recoge Phyphox dependen de la velocidad de muestreo del dispositivo móvil y no es una toma de datos continua si no discreta, por lo cual es necesario hacer un análisis discreto de los datos recolectados.

2.4 Prueba de frenado

2.4.1 ¿Qué se quiere medir?

Se desea medir la **desaceleración** de una motocicleta en una prueba de frenado, siendo este un parámetro que puede ser determinante ante una situación de vida o muerte en la cual se requiera una frenada de emergencia, por lo cual se analiza el frenado combinado, frenado trasero y frenado delantero.

2.4.2 ¿Por qué se quiere medir?

Es de suma importancia evaluar la efectividad del sistema de frenado de cada motocicleta, para esto es necesario comprobar que este sistema tenga una buena relación de potencia/frenado, que cuenta a su vez con la capacidad de detener la motocicleta en un tiempo y distancia seguros (incluso si esta se encuentra acelerada hasta su máxima potencia), y que a su vez sea un sistema de fácil uso.

El Consejo Europeo de Seguridad del Transporte (ETSC) informa en el 2003 que una motocicleta es veinte veces más propensa a tener un accidente que un vehículo de cuatro ruedas [17]. Es por esto que, es importante contar con un buen sistema de bloqueo de los neumáticos, que minimice los riesgos contra la falta de adherencia hacia la calzada causante de la pérdida de control y estabilidad del vehículo.

Por otro lado, es importante tener en cuenta la relación de esfuerzo de frenado del freno delantero vs el freno trasero. Pues según el Reglamento técnico aplicable a sistemas de frenado en motocicletas [18].

... aproximadamente el 70% del esfuerzo máximo de frenado proviene de la llanta delantera, mediante el accionamiento de la palanca de mano en el agarro derecho del manillar. El 30% restante actúa en la parte trasera, operado con el pie mediante un pedal ubicado a la derecha del vehículo. [18].

Si se analiza detenidamente la relación de esfuerzos anteriormente mencionada tiene sentido; puesto que, el centro de masa de la motocicleta tiende a desplazarse hacia adelante durante la desaceleración causando que la rueda delantera

reciba más carga. Es por esto que frenar fuertemente con el freno delantero puede causar que la llanta trasera se levante del suelo y frenar fuertemente con el freno trasero puede causar que la moto derrape o se deslice.

2.4.3 ¿Cómo se va a medir?

Esta prueba requiere el uso de la funcionalidad “aceleración sin g” de PhyPhox. Con la ayuda de esta se podrá determinar la aceleración instantánea en cada momento de la prueba y, con el uso de la siguiente ecuación

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{\Delta t} \quad (1)$$

- a = aceleración [m/s^2]
- v_f = velocidad final [m/s]
- v_i = velocidad inicial [m/s]
- Δt = Tiempo que toma a la velocidad cambia de v_i a v_f [s]

Se puede hallar el tiempo y la distancia que le toma a la motocicleta alcanzar la velocidad 0.

Es importante determinar la efectividad de todo el sistema de frenad; por ende, se debe evaluar tanto el freno delantero como el trasero. De manera que la prueba se realizara primero aplicando solo el freno delantero, segundo aplicando solo el freno trasero y por último se aplicaran ambos frenos simultáneamente para evaluar la sincronía de estos.

2.5 Recorrido de suspensión

2.5.1 ¿Que se quiere medir?

La distancia en milímetros que se desplazan las suspensiones de una moto en el eje trasero y delantero debido al peso.

2.5.2 ¿Por qué se quiere medir?

La medición del SAG es fundamental en el comportamiento dinámico de una moto, para determinar la relación optima entre agilidad y estabilidad.

2.5.3 ¿Cómo se va a medir?

Se realizó una prueba de suspensión para conocer el desplazamiento de la barra de suspensión delantera y trasera de la motocicleta bóxer BM100, de la misma forma que se realizó los ensayos pilotos, es decir con el uso de tres equipos móviles ubicados con la pantalla hacia arriba lo más cerca de una superficie fija que percibiera la perturbación de desplazamiento vertical en la suspensión al aplicarle una fuerza asociada al peso de dos personas sobre la motocicleta. El procedimiento se repitió tres veces.



Fig. 4. Prueba para barra de suspensión delantera
Fuente: Elaboración propia.



Fig. 5. Prueba para barra de suspensión trasera
Fuente: Elaboración propia.

2.6 Nivel de ruido del escape

El decibel es una unidad comparativa empleada ampliamente en ramas como la electricidad, comunicaciones y acústica que sirve como comparación entre escalas.

2.6.1 ¿Qué se quiere medir?

Se desea medir los **niveles de ruido** generados por el sistema de escape y recámara de la motocicleta.

2.6.2 ¿Por qué se quiere medir?

La medición de los niveles de ruido generados por la motocicleta es importante ya que altos niveles de ruido pueden

generan contaminación auditiva molestas tanto para los seres humanos como para el medio ambiente. En el primer caso, la contaminación auditiva puede pasar de ser un ruido molesto, a transformarse en una fuente de verdaderos problemas psicológicos o de dolores físicos. Mientras que en el segundo caso, los altos niveles de ruido pueden ocasionar problemas en el medio ambiente como la disposición o interrupción de comunicación entre especies del medio.

Este tema no solo trata de consciencia social, también tiene repercusiones legales. La emisión auditiva de los vehículos en Colombia está regulada por la **Resolución 8321 de 1983 del Ministerio de Salud** [19], donde se expresa en la siguiente tabla los niveles máximos de ruido permitido para los vehículos en Colombia.

Tabla 8.
Niveles de dB permisibles en Colombia.

Tipo de vehículo	Nivel Sonoro dB (A)
Menos de 2 toneladas	83
De 2 a 5 toneladas	85
Más de 5 toneladas	92
Motocicletas	86

Fuente: [19].

2.6.3 ¿Cómo se va a medir?

Para realizar la medición de las emisiones de ruido de la motocicleta se utilizará la función de amplitud de audio de la aplicación PhyPhox. Esta función permite determinar los niveles de dB producidos por el sistema de escape.

Primero, se deberá calibrar la función de amplitud de audio haciendo uso de un sonido de referencia con una amplitud conocida en dB. Por ejemplo, se puede configurar una fuente de ruido constante y medir su nivel de presión sonora con un dispositivo externo. Una vez determinada la referencia solo queda ingresar el nivel medido y presionar calibrar mientras se ejecuta el experimento.

Una vez calibrada la función simplemente se deberá posicionar el celular lo más cerca posible al sistema de escape y llevar la motocicleta a sus máximas revoluciones. PhyPhox se encargará de medir el nivel de presión sonora (NPS) y graficar el NPS contra el tiempo de manera que se pueda determinar los niveles máximos de contaminación auditiva que alcanza la motocicleta y así poder determinar si cumple con la normativa nacional.

2.7 Estimación de RPM's

2.7.1 ¿Qué se quiere medir?

Se pretende medir el número de vueltas que un eje realiza en unidad de tiempo. Las revoluciones por minuto (RPM), hacen referencia a las unidades de frecuencia, usadas para medir la velocidad angular de una rueda, un eje, un disco o cualquier cosa que gire sobre su propio eje [20].

2.7.2 ¿Por qué se va a medir?

Inicialmente, se quiere determinar las revoluciones por minuto (RPM's) que realiza un motor de combustión interna, usando un teléfono inteligente que incorpora una aplicación móvil. Esta aplicativo nos permitirá comparar los datos que se miden en el tacómetro de la motocicleta, confrontada la información calculada por la aplicación PhyPhox luego de ser procesada. Adicional, se puede calcular el nivel de confiabilidad de la medición, y que tan sensible es a pequeñas variaciones en el motor.

2.7.3 ¿Cómo se va a medir?

Inicialmente se estudió el concepto físico de revoluciones por minuto, luego se buscó en el aplicativo móvil PhyPhox con que tipo herramienta o sensor cuenta para transformar datos que puedan ser usados para calcular las RPM's de un motor de combustión interna de cuatro tiempos. De acuerdo con la revisión, la más acorde para el propósito y la variable a calcular, fue la herramienta aceleración sin g.

Seguidamente, se ubica el teléfono inteligente que dispone de la aplicación PhyPhox sobre la motocicleta en la cual se va a desarrollar la prueba, de tal manera que la pantalla quede ubicada hacia arriba, totalmente acostado. Se enciende la motocicleta, se abre la aplicación PhyPhox, se busca la opción aceleración sin g y se inicia la prueba. Es importante mencionar que antes de comenzar el desplazamiento de la motocicleta se debe esperar un par de segundos mientras se estabilizan los sensores del teléfono inteligente y las gráficas que podemos observar en la herramienta PhyPhox. Posteriormente, se evalúa por medio de un algoritmo desarrollado como parte del proyecto y adjunto en la sección de anexos del mismo. los datos registrados durante la prueba, de esta forma se obtiene la velocidad lineal de la prueba. Para continuar con el objetivo de obtener las RPM's de un motor de cuatro tiempos se debe buscar la información en la ficha técnica del fabricante que contenga el radio total de la llanta (incluye neumático) y/o realizar los cálculos pertinentes para hallarlo, así como la reducción de caja o marcha en que se realiza la prueba. Finalmente, por medio de las ecuaciones que se describen a continuación, acerca de potencia transmitida y velocidad angular del motor relacionada con la velocidad lineal de la prueba ya procesada por el algoritmo, se podrá encontrar las RPM's del motor. Vale la pena resaltar que las mediciones en están sujetas a un error asociado al embrague (de manera más pronunciada en primera marcha), y puede no determinar el valor preciso de RPM's a que opera el motor.

$$P=T\omega \quad (2)$$

P = Potencia transmitida [W]

ω = Velocidad angular [Rad/s]

T = Torsor al que está sometido el eje o rodillo [Nm]

$$\omega_n = R * w_R = R (v/r) \quad (3)$$

ω_n = Velocidad angular del motor [Rad/s]

w_R = Velocidad de la rueda conductora [Rad/s]

R = Relación de reducción de la caja a una marcha definida [Rev/Rev]

v = Velocidad lineal del conjunto moto+piloto [m/s]

r = radio de la rueda [m] [21]

3 Resultados

3.1 Puesta a punto.

Antes de realizar cualquier prueba es necesario conocer de manera experimental el comportamiento de los instrumentos de medición. Los resultados obtenidos del desplazamiento de 20 cm para el eje X en 3 repeticiones se muestra a continuación:

Para el eje X.

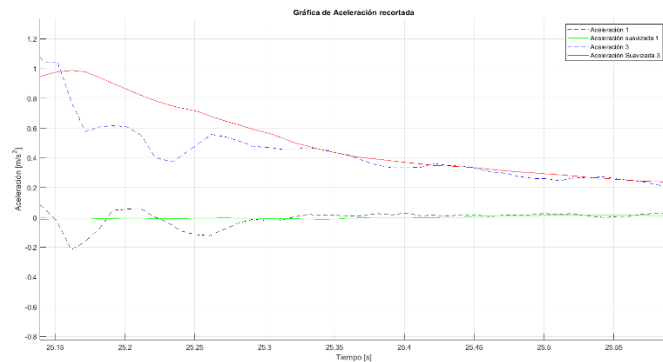


Fig. 6. Puesta a punto en el eje X, prueba de aceleración.

Fuente: Elaboración propia.

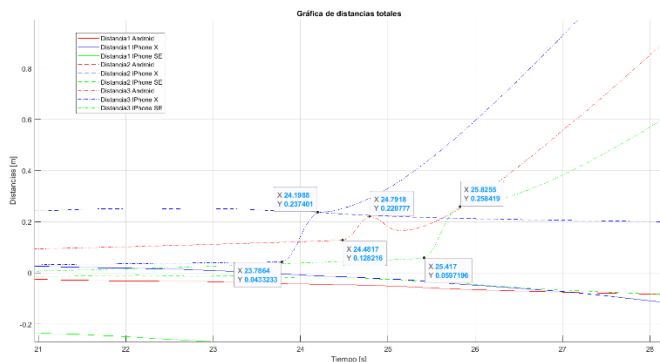


Fig. 7. Puesta a punto en el eje X, prueba de distancias.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 7 se nota que únicamente en 3 de las 9 mediciones del eje X se obtuvieron cambios de distancia similares a los 20 cm esperados. Estas mediciones coinciden

con el experimento que se realizó a una gran aceleración, mientras que los otros 6 se realizaron a baja velocidad.

Además, la figura 6 muestra que la línea verde y negra oscilan entre el valor de 0 del eje vertical, mostrando que el ruido tiene igual magnitud que la aceleración medida para velocidades pequeñas, por lo que no se pueden obtener resultados en pruebas de este estilo. Por su parte la línea roja correspondiente a la aceleración suavizada tiene valores coherentes. Resultados similares pueden obtenerse para los ejes Y y Z.

3.2 Velocidad, aceleración y momento

Siguiendo la metodología planteada en materiales y métodos con la motocicleta KTM 350 exc, se realizó la prueba “aceleración sin g” en PhyPhox. Los datos obtenidos en esta fueron las aceleraciones lineales para cada uno de los tres ejes, luego, con la ayuda de Matlab, se transformaron los datos de entrada en velocidad, desplazamiento y par motor.

Se debe tener presente que la obtención de resultados permite obtener datos instantáneos de velocidad y distancia recorrida tomando deltas de tiempo muy pequeños. De manera que se puede hacer uso de las ecuaciones 4 y 5:

$$V = a_y * t + V_i \quad (4)$$

$$d = \left(\frac{1}{2} * a_y * t^2 \right) + V_i * t + d_i \quad (5)$$

V : velocidad lineal instantánea

a_y : aceleración lineal en dirección y

t : delta de tiempo

V_i : velocidad lineal inicial

d : distancia instantánea

d_i : distancia inicial

Se obtuvieron los siguientes resultados:

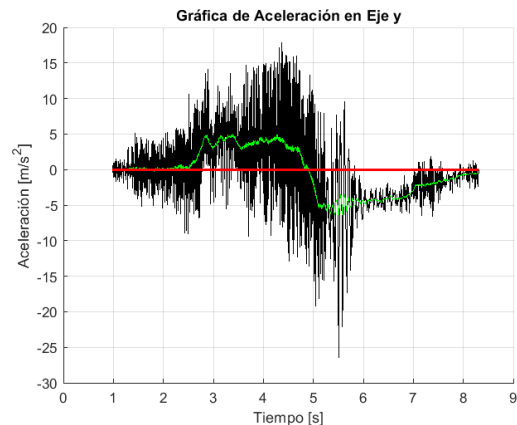


Fig. 8. Prueba de aceleración del sistema moto + persona v.s. tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

En esta gráfica se cuenta con dos líneas, correspondientes a los datos obtenidos directamente del sensor

(color negro) y datos suavizados para la eliminación de ruido (color verde) [22].

Debido a que el celular está acoplado al chasis de la motocicleta y este a su vez está unido al motor, las vibraciones son transmitidas al celular causando ruido en las mediciones, tal como se ve en el gráfico negro. Es por esto que se torna indispensable la eliminación de ruido.

Ahora, este proceso de suavizado debe estar acompañado a su vez de un estudio estadístico que permita verificar la calidad de los datos. Se propone en futuros estudios realizar dicho análisis.

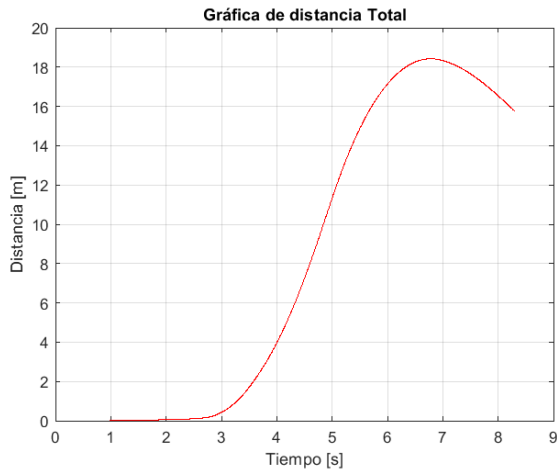


Fig. 9. Gráfica de distancia total v.s. tiempo.
Fuente: Elaboración propia.

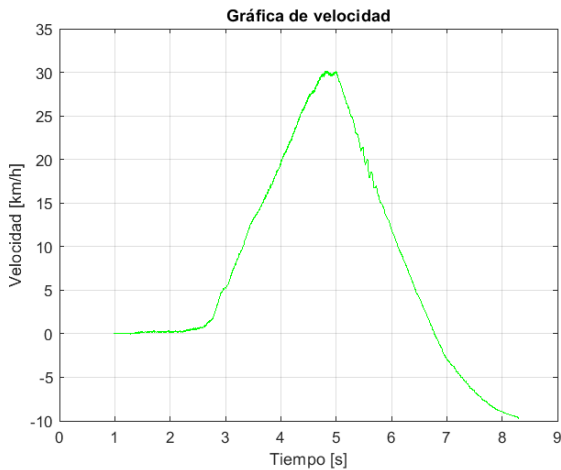


Fig. 10. Gráfica de velocidad instantánea v.s. tiempo.
Fuente: Elaboración propia.

Contrastando estos datos con la prueba real, tanto la figura 9 como la 10 arrojan resultados coherentes, ya que la distancia empleada para las pruebas fue de alrededor de 20 metros, dato el cual corresponde al punto máximo de la gráfica de distancia y la velocidad máxima alcanzada fue de 30 km/h (dato

observado por el piloto en el velocímetro del vehículo) el cual nuevamente coincide con el pico máximo de la figura 10.

Ahora, los datos correspondientes a la caída de la distancia y a las velocidades negativas se deben a que al finalizar las pruebas, el piloto realizó un giro en u para volver a la distancia inicial, por lo que no deben ser tenidas en cuenta.

A partir de estos mismos datos de aceleración, se encuentra el par motor. Para esto, se realiza un análisis dinámico a la rueda trasera partiendo de la teoría encontrada en el texto “Vector mechanics for engineers” [23], se derivan las siguientes ecuaciones (eq. 3-6):

$$\omega_{RT} = \frac{V}{R_{RT}} \quad (3)$$

$$\alpha_{RT} = \frac{\omega_{RT} - \omega_{RTi}}{t} \quad (4)$$

$$M_{RT} = mT * a_y * \frac{R_{RT}}{2} - MI_{RT} * \alpha_{RT} \quad (5)$$

$$M_M = M_{RT} * R_R \quad (6)$$

ω_{RT} : velocidad angular

V : velocidad lineal instantánea

R_{RT} : radio de la rueda trasera

α_{RT} : aceleración angular

t : delta de tiempo

M_{RT} : momento rueda trasera

mT : masa total

a_y : aceleración lineal en dirección y

MI_{RT} : momento de inercia de la rueda trasera

M_M : momento del motor

R_R : relación de reducción

Transformando las ecuaciones continuas en discretas y procesando los datos se obtiene:

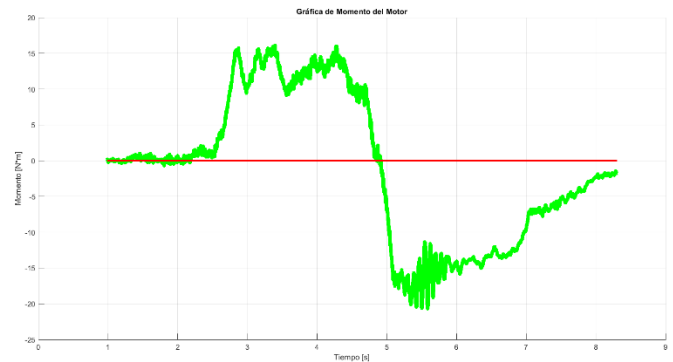


Fig. 11. Gráfica de par motor instantáneo v.s. tiempo.
Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica se obtiene que el torque máximo alcanzado en la prueba es de alrededor de 15 [N m]. Según el fabricante de la

motocicleta, este valor se encuentra alrededor de 30 [N m]. La diferencia entre resultados se debe principalmente a que no se tomaron pérdidas por fuerza de arrastre del aire ni pérdidas de potencia debidas a la transmisión. Se esperaría entonces que los resultados sean coherentes a los reales si se toman en cuenta estas consideraciones, presentándose así para la prueba de momento, velocidad y desplazamiento, como una opción económica que permite obtener resultados preliminares de la caracterización de una motocicleta.

Además, en esta prueba también se evidencia frenado en el vehículo, por lo que la gráfica únicamente tiene validez hasta el segundo 5 donde el momento pasa a ser negativo. Estos valores por debajo del cero representan la acción de los frenos.

3.3 Prueba de frenado

Con el algoritmo desarrollado se analizan las gráficas de aceleración, previamente se debió procesar en el código los datos registrados de la prueba de aceleración sin g de la herramienta Phypox, centrándonos en el eje Y. Se llevaron a cabo tres pruebas, inicialmente se realizó una prueba accionando el freno delantero, luego accionando el freno trasero y finalmente accionando los dos de manera simultánea. Las pruebas conservan las características de lugar y condiciones ambientales descritas en la siguiente tabla, además todas las pruebas se ejecutaron con una velocidad promedio de 30 km/h.

Tabla 9.
Condiciones ambientales y lugar de prueba.

Condiciones climáticas	Soleado
Temperatura	20.27°C
Presión atmosférica	105.443 kPa
Tipo de vía	Asfaltada
Estado de la vía	Nueva
Inclinación	0°

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1 Frenado delantero

Según el comportamiento de las figuras 8 y 12, la desaceleración máxima registrada es de $-7,864 \text{ m/s}^2$ en una distancia cercana a 15 metros en 8 segundos que tardo la prueba, en este punto la motocicleta se detiene completamente.

La ejecución de esta prueba se recomienda hacerla con total precaución dado el riesgo que implica accionar solo el freno delantero de la motocicleta.

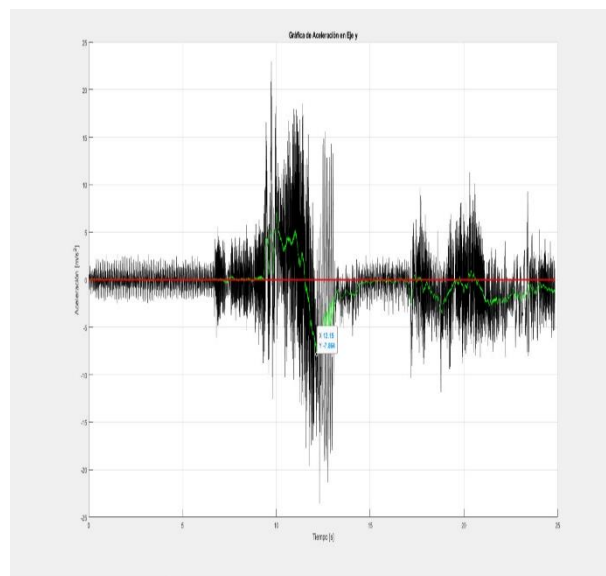


Fig. 12. Comportamiento de la prueba de desaceleración para freno delantero – máximo valor registrado $-7,864 \text{ m/s}^2$

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Frenado trasero

Las figuras 13 y 14 presenta el comportamiento de la desaceleración en la prueba de frenado trasero. Se registra un valor máximo de desaceleración de $-6,349 \text{ m/s}^2$. Coherentemente a lo esperado, se obtiene una disminución cercana al 19% en comparación a la prueba de frenado delantero. Se puede observar que el tiempo de frenado tarda aproximadamente siete segundos en una distancia de 18 metros.

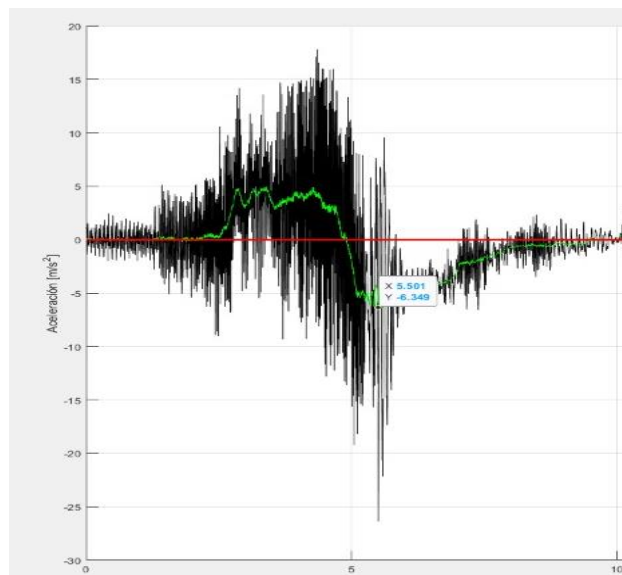


Fig. 13. Comportamiento de la prueba de desaceleración para freno trasero – máximo valor registrado $-6,349 \text{ m/s}^2$

Fuente: Elaboración propia.

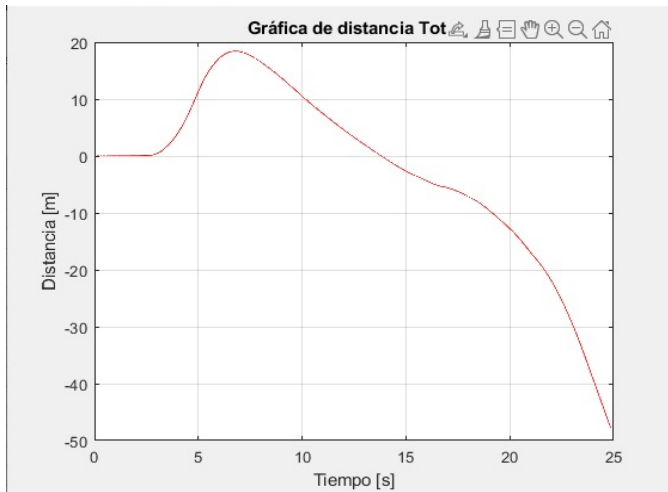


Fig. 14. Comportamiento de la *distancia recorrida en la prueba de frenado trasero*

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Frenado combinado

En las figuras 15 y 16 se ilustra un comportamiento particularmente consecuente en los valores máximos registrados de desaceleración cuando se accionan simultáneamente el freno delantero y trasero, obteniendo en este caso un valor de $-9,214 \text{ m/s}^2$ que sobrepasa los valores de frenado delantero y trasero en 17% y 44% respectivamente como se esperaba. La ejecución de la prueba duro aproximadamente 8 segundos y la distancia recorrida es cercana a 18 metros.

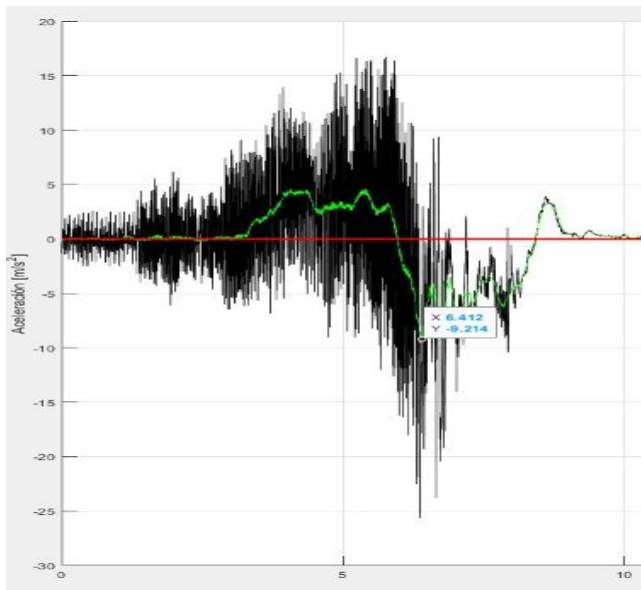


Fig. 15. Comportamiento de la prueba de desaceleración para freno combinado – máximo valor registrado $-9,214 \text{ m/s}^2$

Fuente: Elaboración propia.

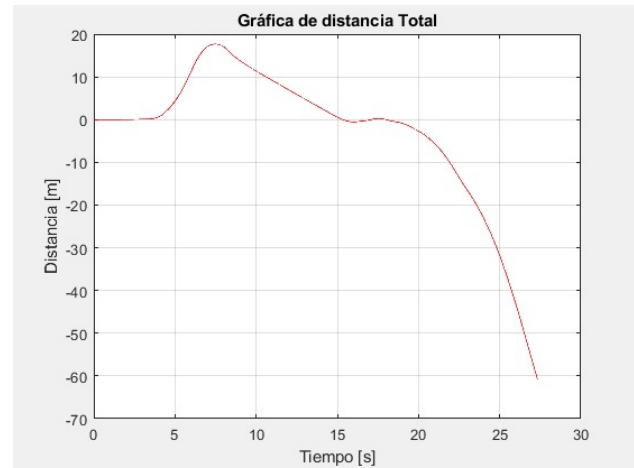


Fig. 16. Comportamiento de la distancia recorrida en la prueba de frenado combinado

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4 Tabla comparativa.

Si se compara las tres pruebas de frenado realizadas accionando los diferentes mecanismos de freno de la motocicleta de prueba, se obtienen los siguientes datos:

Tabla. 10.

Comparativa de los distintos mecanismos de freno de prueba.

	Distancia de frenado (m)	Desaceleración máxima registrada (m/s^2)	Fuerza de frenado en el Pico Máximo de desaceleración (N)
Freno delantero	15	-7,864	1368,3
Freno trasero	18	-6,349	1104,7
Freno combinado	18	-9,214	1603,2

Fuente: Elaboración propia.

Los valores observados en la tabla 10 muestran los datos obtenidos en las tres diferentes tres pruebas realizadas con cada mecanismo de freno, es claro que el valor de desaceleración mínimo lo arroja la prueba de freno trasero, con valor de $-6,349 \text{ m/s}^2$. De manera consecuente el valor máximo de desaceleración registrado se obtuvo en la prueba de freno combinado con un valor de $-9,214 \text{ m/s}^2$.

La fuerza de frenado en el pico de desaceleración se calculó con el valor máximo de frenado en cada prueba, para una masa de 174 kilogramos. Así las cosas, la mayor fuerza entregada para una masa constante de 174 kilogramos fue de 1603,2 N en la prueba de frenado combinada, es decir, incremento cercano al 45% si lo comparamos con el menor registro de la prueba de frenado trasero. Los resultados obtenidos están de acuerdo cualitativamente por lo presentado por los autores en sus trabajos experimentales [24].

3.4 Recorrido de suspensión

A la hora de realizar la prueba para recolección de datos del

recorrido de la suspensión, se reconoció una problemática frente a las mediciones que arrojaba Phyphox, debido a que las perturbaciones que se registraban eran muy pequeñas, como si estas fuesen más ruido que una perturbación causada por el movimiento de la suspensión. Esto impidió tener una buena recolección de datos inicial y por ende un análisis de datos errado.

Esto se debe a que la aceleración que se puede lograr comprimiendo las suspensiones es muy leve a comparación por ejemplo de las aceleraciones obtenidas durante la prueba de aceleración o frenado, que permite ver que Phyphox requiere de aceleraciones drásticas para poder recolectar datos de manera más certera y adecuada. Es por esto que no se logro obtener unos datos comparables con el recorrido en la suspensión que es declarado por el fabricante en el catálogo del vehículo, y no se procedió con esta experimentación en específico.

3.5 Nivel de ruido del escape

Al realizar la prueba de ruido a la motocicleta KTM 350 exc de enduro con un cilindraje de 349.7 cc se hallaron los datos numéricos de NPS (dB) contra el tiempo (s) que posteriormente se graficaron con la ayuda de MATLAB:

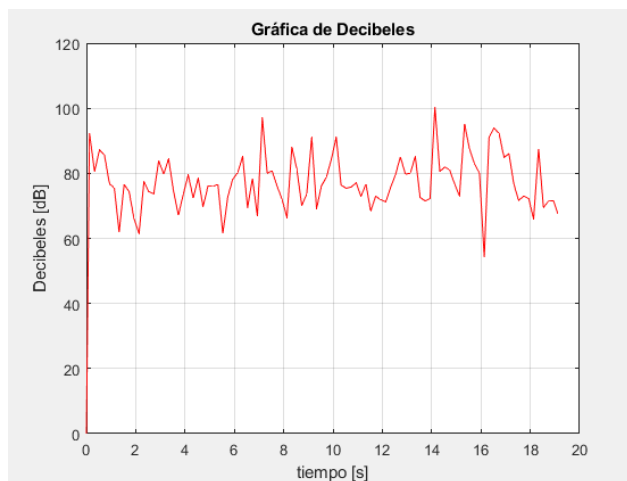


Fig. 17. Comportamiento de los decibeles medidos en el exhosto
Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica anterior se puede observar que la motocicleta alcanza hasta aproximadamente 100 dB en niveles de ruido del escape. Por consiguiente, a partir de estos resultados se puede concluir que en este caso específico la emisión auditiva de la motocicleta analizada no cumple con la Resolución 8321 de 1983 del Ministerio de Salud de Colombia y por lo tanto no es legal el desplazamiento de esta en vías públicas.

Por otro lado, comparando los datos obtenidos por la función “amplitud de audio” de PhyPhox contra los datos del fabricante del exhosto de la motocicleta, FMF Factory 4.1 RCT Exhaust System KTM 350 EXC-F [16], se puede notar que los resultados de PhyPhox son coherentes con las especificaciones del fabricante. Puesto que el fabricante indica que este exhosto

alcanza niveles de ruido de hasta 94 dB y las pruebas de amplitud de audio alcanzaron 100.33 dB, se tiene un porcentaje de error para la prueba de 6.7%, que en este caso se considera como un valor bajo de error.

3.6 Estimación de RPM's

Con el algoritmo desarrollado se analizan las gráficas de la prueba de aceleración sin g, lo que permite observar el efecto de la velocidad lineal sobre las revoluciones por minuto del motor en las pruebas realizadas.

Para realizar el análisis de resultados se utiliza una motocicleta KTM 350 exc de enduro con un cilindraje de 349.7 cc y el programa elaborado en Matlab, que permite a partir de los datos crudos de la aceleración sin g obtener resultados de velocidad lineal; y además, para este caso datos de la velocidad angular de la llanta, teniendo en cuenta la relación de reducción de la caja en primera marcha, ya que fue este el único cambio en el que se realizó la prueba. La distancia de prueba es de aproximadamente 20 metros y tuvo duración cercana de ocho segundos. La figura 18 de las RPM's del motor muestra el comportamiento de las rpm en los primeros cinco segundos (periodo de interés para la prueba) de aceleración del motor que van desde 0 hasta 1600 rpm, el comportamiento en estos primeros tiempos tiende a presentar error asociado al embrague, de ahí que su registro sea bastante bajo. Aclaramos que no se pudo realizar un comparativo con el registro del tacómetro, ya que la motocicleta en la cual se desarrolló la prueba no incorporaba este dispositivo.

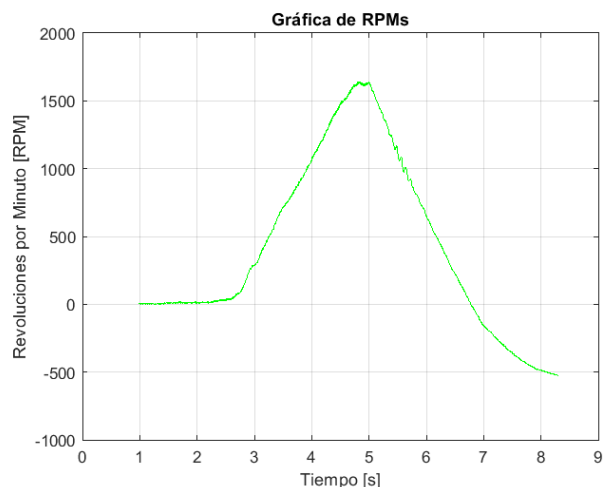


Fig. 18. Comportamiento de las RPM's del motor de una motocicleta KTM 350 - Se toman los primeros 5 segundos de aceleración del motor
Fuente: Elaboración propia.

Estos datos fueron obtenidos a partir de la discretización de la siguiente ecuación.

$$RPM_{Motor(i)} = \left(\frac{1}{RelacionReducción} \right) * omegaTrasero(i) * \frac{30}{\pi} \quad (7)$$

4 Conclusiones

Phyphox resulta ser una herramienta muy útil para realizar experimentos académicos cuyo propósito sea explicar y demostrar leyes físicas, pero no es de mucha utilidad como banco de pruebas para motos. Pues se trata de una aplicación que usa sensores relativamente básicos en comparación con aquellos requeridos para realizar un análisis detallado de los componentes de la motocicleta. Sin embargo, los datos hallados pueden ser tomados como preliminares en el caso de que no se cuente con un dinamómetro para medir con precisión.

Un dinamómetro que se usa como herramienta principal de banco de pruebas para motocicletas puede llegar a costar hasta 30.000 USD, esto se debe a que el dinamómetro cuenta no solo con sensores de alta tecnología, sino además cuenta con componentes mecánicos que son claves a la hora de realizar las pruebas. Por ejemplo, el dinamómetro cuenta con rodillos y soportes que permiten evaluar el rodamiento de la motocicleta en condiciones casi perfectas, mientras que con Phyphox se deben realizar los experimentos en carretera lo cual agrega una gran lista extra de pérdidas energéticas, errores humanos y factores externos a la prueba.

Phyphox registra datos crudos que pueden ser tomados como base de datos para códigos basados en las leyes de dinámica, los resultados obtenidos en casos como frenado y torque, los resultados son coherentes y cerca a los valores reales. Sin embargo, este puede llegar a presentar limitaciones cuando se trata de pruebas que presentan perturbaciones poco abruptas, que para Phyphox son indetectables, como es el caso de una prueba de suspensión, que experimenta movimientos de escasos centímetros y a muy bajas velocidades; lo cual limita la recolección de datos en este tipo de pruebas, y los registros no permiten obtener calidad en los resultados con los datos procesados. Además de esto, los códigos realizados para el análisis (por ejemplo del torque), requieren de un buen conocimiento de la física detrás del movimiento de un cuerpo rígido, no es algo que una persona con conocimientos empíricos como es el caso de muchos de los mecánicos que usualmente hay en los talleres comunes, y también la manipulación del mismo es bastante delicada debido a la cantidad de ecuaciones y módulos que requirió el código para llegar a los resultados deseados.

A la hora de evaluar Phyphox como banco de prueba para motocicletas, y conociendo en varios casos sus alcances utilizando de forma correcta los datos crudos registrados por la aplicación, podemos decir que sus mediciones no convencionales son dificultosas y requieren de más personal para ejecutarlas de manera adecuada, así como mayor cuidado en los cálculos dinámicos, ya que los resultados tienen relevancia en datos calculados por código a partir de mediciones indirectas, más que en datos directos experimentales, lo que a largo plazo conlleva a una metodología de caracterización de motocicletas no viable en el tiempo y poco práctica como en el caso de las rpm, que al tratarse de una medición indirecta

presenta errores asociados a los datos primarios que no tienen encuenta el efecto del embrague.

Si se observa este trabajo desde el punto de vista de la prueba de niveles de ruido del escape se puede concluir que Phyphox sí sirve como banco de pruebas para motos en esta función en específico. Esto dado que, comparando los resultados obtenidos con resultados del fabricante del ruido del exhosto, se determinó que Phyphox puede calcular los niveles de ruido del escape de la motocicleta con hasta un 93.3% de precisión. Porcentaje que se considera muy favorable para esta prueba y que puede ser mejorado realizando la prueba varias veces; de manera que, se puede obtener un resultado promedio más preciso y así disminuir errores humanos y factores externos que afecten la prueba.

Es necesario mencionar que los experimentos realizados en esta investigación se plantearon de forma preliminar y con implementos básicos, lo cual deja abierta la posibilidad de extender el alcance de la prueba utilizando sensores externos y experimentos de Phyphox mejorados (recuerde que se pueden crear experimentos propios en el software) que permitan tener un análisis de datos más completo y más preciso, evitando mucho del ruido captado por los sensores, lo que permitiría replantear experimentaciones como la del recorrido de la suspensión y mejorar los demás experimentos realizados.

A la hora de realizar las pruebas experimentales en campo se requiere contar con un número básico de personal humano (tres personas), que apoye en la operación y en la toma de datos durante el desarrollo de la prueba, es decir, se pueda obtener con mayor precisión la cantidad de parámetros necesarios que se evalúan, como son las distancias, tiempos, velocidades, entre otros parámetros que se determinan y procesan simultáneamente.

5 Referencias

- [1] RAE, "Dinamómetro."
- [2] Equimaster, *COTIZACIÓN DINAMÓMETRO RODILLO SIMPLE*.
- [3] Google, "Science journal by Google." <https://sciencejournal.withgoogle.com/>.
- [4] C. Vieyra, Rebecca Vieyra, T. Angert, and B. Xu, "Physics Toolbox." <https://www.vieyrasoftware.net/?lang=es>.
- [5] "phyphox – Physical Phone Experiments." <https://phyphox.org/> (accessed Sep. 28, 2020).
- [6] A. Kathryn, "Instruments Sensors and apps are turning smartphones into engineering measurement tools," *Mech. Eng.*, pp. 42–45, 2015.
- [7] R. Rodrigues Barroso, A. Lopes de Oliveira, and V. Luiz de Jesus, "Simulação da detecção de exoplanetas pelo método do trânsito utilizando o pêndulo cônico e o smartphone," *Rev. Bras. Ensino Física*, vol. 42, 2020.
- [8] A. M. Pendrill and C. Modig, "Pendulum rides,

- rotations and the Coriolis effect,” *Phys. Educ.*, vol. 53, no. 4, 2018, doi: 10.1088/1361-6552/aac3cb.
- [9] S. Staacks, H. Heinke, and C. Stampfer, “Simple time-of-flight measurement of the speed of sound using smartphones.”
- [10] H. Hikmatiar, I. Ishafit, and M. E. Wahyuni, “Determination The Coefficient of Restitution in Object as Temperature Function in Partially Elastic Collision Using Phyphox Application on Smartphone,” *Sci. Technol. Indones.*, vol. 4, no. 4, p. 88, 2019, doi: 10.26554/sti.2019.4.4.88-93.
- [11] Y. Pramudya and E. Raharja, “The Influence of Inclined Plane Angle to The Oscillation Period of Spring and Block Systems,” vol. 189, no. 5, pp. 9–12, 2019, doi: 10.2991/adics-es-19.2019.3.
- [12] S. -, I. -, and S. Fayanto, “Theoretical and experimental studies on centripetal acceleration using the Phyphox application,” *Int. J. Sci. Res. Publ.*, vol. 9, no. 9, p. p9322, 2019, doi: 10.29322/ijsrp.9.09.2019.p9322.
- [13] G. Santos, J. Reis, B. Santos, and M. A. Peralta, “Sequência de ensino investigativa para o ensino da lei de Hooke e movimento harmônico simples: uso do aplicativo Phyphox, o simulador Phet e GIF’s,” *Rev. Enseñanza la Física*, vol. 31, 2019.
- [14] V. Antohe, “Integrating smartphone and hands-on activities to real experiments in physics,” pp. 3–17, 2020.
- [15] Auteco, “Manual de Servicio Boxer BM 100.” <https://es.scribd.com/document/440192847/01-Manual-de-Servicio-Boxer-BM-100>.
- [16] KTM, “Ficha técnica moto KTM 350 EXC-F 2020.” <https://www.arpem.com/ktm/precios-motos/2020/ktm-350-exc-f.html>.
- [17] S. Márquez Pérez, “Metodología para la integración de la Seguridad Vial en la Empresa, para reducir el índice de accidentes laborales de Tráfico,” 2016.
- [18] “REGLAMENTO TÉCNICO APLICABLE A SISTEMAS DE FRENADO EN MOTOCICLETAS,” 2019. [Online]. Available: <https://ansv.gov.co/public/uploads/AINproblemaFreno smotosv20192612.pdf>.
- [19] “Ministerio de salud. Resolución 8321 del 4 agosto de 1983.” <http://parquearvi.org/wp-content/uploads/2016/11/Resolucion-8321-de-1983.pdf> (accessed Oct. 22, 2020).
- [20] F. Marquez, B. Miller, and S. R. Tarazona, “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA MOTORES MONOCILINDRICOS DE CUATRO TIEMPOS A GASOLINA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA ESCUELA DE INGENIERIA Y ADMINISTRACION FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA BUCARAMANGA 2011.”
- [21] A. Hernandez Rueda and C. L. Portillo Ortega, “Diseño y construcción de un banco de pruebas de un motor diesel,” UPB, 2013.
- [22] MathWorks, “movmean.” <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/movmean.html>.
- [23] F. P. Beer, E. R. Johnston, D. F. Mazurek, P. J. Cornwell, and B. P. Self, *VECTOR MECHANICS for ENGINEERS*. 2013.
- [24] J. F. Iñiguez, G. G. Reyes, M. S. Córdova Doménica, and B. A. L. Verdezoto, “Estudio de la eficiencia de frenado en motocicletas utilitarias tipo l3 según norma GTR-3,” *Rev. INFOCIENCIA*, vol. 11, pp. 119–124, 2017, [Online]. Available: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/Infociencia/article/download/996/pdf>.