



Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Automotriz

Análisis del desempeño mecánico de una motocicleta de competencia cambiando su combustible y sistema de escape.

Trabajo previo a la obtención del grado académico de Ingeniero Automotriz

Autores:

Renato David Cueva Heredia

Juan Mateo Sáenz Monroy

Director:

Ing. Gustavo Alvarez Coello, MSc.

Cuenca – Ecuador

2024

DEDICATORIA.

Renato David Cueva Heredia.

A mis padres, Lorena y Gustavo quienes han estado en mi vida, sabiéndome guiar y fomentar a ser cada día una mejor persona a través de sus enseñanzas y valores, por confiar en mi al darme la oportunidad de estudiar. De igual forma, a mi hermana Emilia junto a su esposo Paul quienes supieron apoyarme en todos estos años de universidad, siempre siendo grandes personas con sus gestos y detalles. A mis abuelos, Floro y Blanca que a partir de su educación y corazón han hecho de mi la persona que soy hoy, reflejando todas sus enseñanzas a partir de mis acciones.

Juan Mateo Saenz Monroy.

A mi padre y madre, por su sacrificio e infinito apoyo a lo largo de todos estos años.

AGRADECIMIENTOS.

Renato David Cueva

A todos los docentes quienes estuvieron presentes a lo largo de esta etapa de mi vida universitaria, sabiéndome guiar y fomentar de la mejor manera. Al Ing. Gustavo quien siempre estuvo presente para resolver dudas e inquietudes no solamente en este proyecto sino, también en experiencias enfocadas al crecimiento personal.

Juan Mateo Sáenz Monroy

Al Ing. Gustavo Alvarez, quien estuvo pendiente en el avance de este trabajo, aclarando dudas y sabiendo guiar a lo largo de este último año. De igual forma, al Ing Pablo Paredes quien nos guió en un correcto uso del dinamómetro, sabiendo brindar ayuda y estando presente en la resolución de dudas.

RESUMEN.

Este estudio se enfoca en analizar el rendimiento mecánico de una motocicleta de competición Yamaha YZ250FX, específicamente diseñada para la categoría de hare scramble, a través de la implementación de cuatro configuraciones distintas. Dichas configuraciones incluyen la variación en el uso de combustibles como Super y Sunoco, la sustitución del sistema de escape estándar por uno de competición y la incorporación de mapas de inyección en la motocicleta. Antes de llevar a cabo las pruebas, se realizó un análisis detallado de las propiedades químicas de los combustibles, como el número de octanos y el poder calorífico. Cada una de las configuraciones se sometió a un total de 10 ensayos utilizando un dinamómetro de chasis. Los resultados revelaron un aumento significativo en el desempeño mecánico de la motocicleta, con incrementos del 4.97% y 7.69% en los valores de torque y potencia, respectivamente, en comparación con la motocicleta estándar. Estos hallazgos indican claramente una mejora notable en las capacidades mecánicas de la motocicleta bajo las distintas configuraciones implementadas.

Palabras clave:

Motocicleta de hare scramble, torque, potencia, combustible, sistema de escape, dinamómetro de chasis.

ABSTRACT.

This study analyzes the mechanical performance of a Yamaha YZ250FX competition motorcycle, specifically designed for the hare scramble category, by implementing four different configurations. These configurations include variations in the use of fuels such as Super and Sunoco, replacing the standard exhaust system with a competition one, and incorporating injection maps into the motorcycle. Before conducting the tests, a detailed analysis of the chemical properties of the fuels, such as octane number and calorific value, was carried out. Each configuration underwent a total of 10 trials using a chassis dynamometer. The results revealed a significant increase in the mechanical performance of the motorcycle, with increases of 4.97% and 7.69% in torque and power values, respectively, compared to the standard motorcycle. These findings indicate a notable improvement in the mechanical capabilities of the motorcycle under the various implemented configurations.

Keywords.

Hare scramble motorcycle, torque, power, fuel, exhaust system, chassis dynamometer.

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

INTRODUCCIÓN.....	1
PROBLEMÁTICA.....	1
JUSTIFICACIÓN	1
MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	2
MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
MATERIALES	6
<i>Motocicleta</i>	6
<i>Combustibles</i>	7
<i>Sistema de escape</i>	7
<i>Dinamómetro de chasis</i>	8
METODOLOGÍA.....	9
<i>C1 STD 92: Torque y potencia</i>	11
<i>C1 STD 92: Capacidad de aceleración</i>	12
<i>C3 STD 92: Torque y potencia.</i>	12
<i>C3 STD 92: Capacidad de aceleración</i>	13
<i>C2 STD 105: Torque y potencia.</i>	13
<i>C2 STD 105: Capacidad de aceleración</i>	14
<i>C4 MOD 105: Torque y potencia.</i>	14
<i>C4 MOD 105: Capacidad de aceleración</i>	15
RESULTADOS	17
CONCLUSIONES	19
REFERENCIAS	20
ANEXOS	22

ÍNDICE DE FIGURAS.

FIGURA 1 MOTOCICLETA YAMAHA YZ250FX.	6
FIGURA 2 SISTEMA DE ESCAPE FMF 4.1.	8
FIGURA 3 DINAMÓMETRO DE CHASIS.....	8
FIGURA 4 RAMPA DE DINAMÓMETRO	8
FIGURA 5 CONFIGURACIONES YAMAHA YZ250FX.	9
FIGURA 6 CAMBIO A NEUMÁTICO LISO	10
FIGURA 7 MOTOCICLETA SUJETADA EN EL DINAMÓMETRO	10
FIGURA 8 YAMAHA YZ250FX SUJETADA	11
FIGURA 9 VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO.....	11
FIGURA 10 PRUEBAS CONFIGURACIÓN C1 STD 92.....	12
FIGURA 11 SUSTITUCIÓN DEL SISTEMA DE ESCAPE.....	13
FIGURA 12 MAPA DE INYECCIÓN SELECCIONADO.....	13
FIGURA 13 MAPA DE INYECCIÓN SELECCIONADO.....	14
FIGURA 14 LLENADO DE COMBUSTIBLE SUNOCO.....	14
FIGURA 15 MAPA MXPOWERFEELING SELECCIONADO.....	15
FIGURA 16 RESULTADOS DESEMPEÑO MECÁNICO.....	17
FIGURA 17 RESULTADO PRUEBAS DE TORQUE	18
FIGURA 18 RESULTADO PRUEBAS DE POTENCIA	18
FIGURA 19 MOTOCICLETA CON LOS MECANISMOS DE VENTILACIÓN	22
FIGURA 20 SUJECIÓN DE LA MOTOCICLETA EN EL BANCO DINAMOMÉTRICO	22
FIGURA 21 ENSAYO EN EL DINAMÓMETRO DE CHASIS	22
FIGURA 22 LLENADO DEL DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE	22
FIGURA 23 LLENADO DEL DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE	22
FIGURA 24 SUCCIÓN DEL COMBUSTIBLE EN EL DEPÓSITO.....	22
FIGURA 25 ENSAYO EN EL DINAMÓMETRO DE CHASIS	23
FIGURA 26 ENSAYO EN EL DINAMÓMETRO DE CHASIS	23
FIGURA 27 MOTOCICLETA YAMAHA YZ250FX	23
FIGURA 28 MOTOCICLETA MODIFICADA CON EL SISTEMA DE ESCAPE ACOPLADO	23

ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1 FICHA TÉCNICA YAMAHA YZ250FX.	6
TABLA 2 FICHA TÉCNICA SUPER VS SUNOCO 260 GT PLUS.	7
TABLA 3 FMF 4.1 FICHA TÉCNICA	7
TABLA 4 DINAMÓMETRO DE CHASIS FICHA TÉCNICA.....	8
TABLA 5 DATOS DE LA CAJA DE CAMBIOS.....	16
TABLA 6 DIFERENCIA DE ERROR PRUEBAS TORQUE	17
TABLA 7 DIFERENCIA DE ERROR PRUEBAS POTENCIA.....	18

ÍNDICE DE ECUACIONES.

ECUACIÓN 1 REVOLUCIONES EN EL MOTOR.....	16
ECUACIÓN 2 TORQUE EN EL MOTOR [NM].	16

Análisis del desempeño mecánico de una motocicleta de competición modificando el combustible y sistema de escape.

Renato David Cueva-Heredia, Juan Mateo Sáenz-Monroy
Gustavo Andrés Álvarez-Coello, Miguel Andrés López-Hidalgo.

Escuela de Ingeniería Automotriz
Universidad del Azuay
davidcuevh@es.uazuay.edu.ec
mateosaenzm@es.uazuay.edu.ec

Introducción.

Problemática.

En Ecuador, se llevan a cabo competiciones de motocicletas en las disciplinas de motocross (MX) y hare scramble (HS). El desempeño mecánico juega un papel crucial en estos vehículos durante las competiciones para asegurar la posición líder. Para lograr esto, se requiere destreza y un entrenamiento constante, además de contar con una motocicleta que cumpla con los requisitos establecidos por las Federaciones del Motociclismo. Uno de los requisitos fundamentales es cumplir con el cilindraje del motor según la categoría en la que se participa. No obstante, existen varias modificaciones posibles para mejorar el rendimiento del motor. Por ejemplo, se pueden realizar cambios en el sistema de escape o en la Unidad de Control Electrónica (ECU), entre otros.

Si bien hay varias modificaciones disponibles en el mercado para motocicletas, la literatura existente no proporciona información sobre cómo mejorar el rendimiento mecánico específicamente en motocicletas de competición. No se abordan detalles sobre cómo y dónde se llevan a cabo pruebas para cuantificar este aumento de rendimiento. Esta carencia de información dificulta la toma de decisiones al buscar opciones que ofrezcan una relación óptima entre costo y beneficio.

Justificación.

La carencia de información relacionada con el aumento del rendimiento mecánico en motocicletas de competición es un problema que requiere atención. Por lo tanto, este trabajo experimental se centra en el análisis dinamométrico de una motocicleta para comparar su rendimiento. Esto se logra mediante la modificación del combustible, considerando sus propiedades químicas, y el reemplazo del sistema de escape. Al proporcionar información confiable, como se demostró en este estudio, se ofrece la oportunidad de tomar decisiones informadas al buscar mejorar el rendimiento de la motocicleta, especialmente en la categoría de hare scramble.

Marco teórico y estado del arte.

El deporte del motociclismo implica el control de una motocicleta en terrenos que presentan riesgos y desafíos para el conductor. Dentro de dicho deporte, existen muchas disciplinas, de las cuales esta investigación se centró en la categoría de hare scramble; en esta modalidad, la competencia se realiza en un circuito abierto con senderos boscosos, arroyos y colinas. Por lo tanto, la configuración en el desempeño mecánico es indispensable para un correcto desarrollo de la competencia. En la Tabla 1 se observa la ficha técnica de la motocicleta recomendada para esta modalidad.

El desempeño mecánico es la capacidad de un sistema para funcionar de manera eficiente y efectiva; es decir, se refiere a la forma en que los componentes de la motocicleta trabajan en conjunto para ofrecer un rendimiento óptimo. Por lo tanto, la motocicleta debe proporcionar una potencia, un par motor y una capacidad de aceleración adecuados según las especificaciones de la competencia (Puškár & Bigoš, 2012).

En el mercado existen varias opciones para el aumento del desempeño mecánico. Como, por ejemplo, Raghuvaran et al. (2020) propone que, a partir del uso de piñones, se produce una variación en la potencia, ya que estos tienen dimensiones diferentes para que la potencia y el par motor puedan variar. Se explica que la relación entre los dientes de salida y los dientes de entrada determina los resultados de potencia y par motor, generando un aumento entre estos dos aspectos. De manera similar, Kamil et al., (2021) explica que al sustituir y modificar la Unidad de Control Electrónico (ECU) de una motocicleta Honda CRF 150cc del año 2018, se logra un aumento del 80,11% en el par y del 76% en la potencia, en comparación con la (ECU) estándar.

De igual forma, Alvarez-Moscoso. (2018) mediante una investigación, se centró en estudiar el incremento de potencia en la motocicleta Yamaha Fz1-N. Para lograr esto, se llevó a cabo una comprensión detallada del funcionamiento del sistema de inyección de combustible y sus componentes, además de utilizar equipos de medición para recopilar información relevante. A través de pruebas iniciales que incluyeron la medición de la potencia estándar, el pulso de inyección normal y modificado, se realizaron ajustes utilizando un dispositivo Piggyback de la marca Two Brothers. Todo esto con el objetivo principal de alcanzar un aumento en la potencia del motor durante las revoluciones máximas.

Por otro lado, a partir de la sustitución de la bomba de agua mecánica por una bomba eléctrica, se investigó la variación de potencia en una motocicleta de motocross de 250cc. Esto se llevó a cabo mediante pruebas en un dinamómetro de chasis, utilizando tanto la bomba mecánica original como la bomba eléctrica seleccionada. Aunque el análisis estadístico no reveló diferencias significativas en los valores de potencia, se observó que la implementación de la bomba de agua eléctrica redujo considerablemente la dispersión de estos valores (39,44%), indicando una entrega de potencia más constante. Esto podría ser beneficioso para motocicletas destinadas al ámbito deportivo (Cordero Joaquín et al., 2023).

Igualmente, Masi et al. (2010) demuestra que hay una falta general de información sobre pruebas de rendimiento en motores de competición debido a la reticencia de los fabricantes a difundir la información. En este sentido, el artículo presenta los resultados

de pruebas experimentales realizadas en un motor de motocicleta con su configuración estándar versus una configuración modificada, basándose en las Regulaciones Técnicas del Campeonato Italiano de Velocidad de Carretera de la FIM. Estos resultados muestran un aumento del 16% en el par y del 33% en la potencia en comparación con la configuración estándar.

Por último, Byrne & O'Shaughnessy (2020) afirma que, mediante pruebas en un motor de encendido por compresión Ford XLD 418, se evaluaron y compararon diversas mezclas de biodiesel y diésel agrícola estándar en proporciones del 10%, 50% y 75%. Estas mezclas se compararon con pruebas de referencia realizadas utilizando combustible diésel puro en el mismo motor y bajo las mismas condiciones de prueba. Se llevaron a cabo numerosas pruebas de rendimiento para cada mezcla, concluyendo que el desempeño mecánico del motor empeoró con el aumento de los niveles de mezcla de combustible.

Con esto se sabe que la potencia es la cantidad de energía o trabajo que puede generar un motor en un intervalo de tiempo, medida en caballos de fuerza (HP) o kilovatios (kW), y el torque es la medida de la fuerza que un motor puede generar para mover o hacer girar un objeto, expresada en Newton-metros (Nm). A su vez, la capacidad de aceleración se refiere a la posibilidad de aumentar la velocidad desde una posición de reposo o mientras la motocicleta se desplaza a una determinada velocidad. (Masi et al., 2010).

La seguridad en esta modalidad resulta indispensable para llevar a cabo una competencia amigable y segura. Es por eso que los lineamientos técnicos y de competencia son importantes, ya que son reglas y especificaciones que deben cumplirse para garantizar la seguridad tanto de los competidores como de los espectadores y permitir que las competencias se desarrollen de forma correcta. Por lo tanto, los lineamientos técnicos de la motocicleta, como las dimensiones y el peso, las especificaciones del motor, los sistemas de suspensión, los neumáticos y sus dimensiones, el sistema de frenos y los sistemas de escape, están regulados por federaciones responsables, en este caso, la FIM (Federación Internacional del Motociclismo) y de igual forma por la FEM (Federación Ecuatoriana del Motociclismo) (GNCC Racing, 2023).

Cumpliendo con esto, la modificación principal que se realizó fue en el combustible, el cual desempeñó un papel importante en el análisis del torque y la potencia de la motocicleta. En primer lugar, los combustibles son una mezcla de hidrocarburos que se obtienen por destilación fraccionada del petróleo crudo, y cuyas propiedades de volatilidad, inflamabilidad e índice de octano proporcionan al motor del vehículo un fácil arranque en frío y una máxima potencia durante la aceleración (Mosquera-Montero, 2020).

Siendo así, surgen políticas ambientales que, además de buscar eficiencia neta en el rendimiento del motor mediante los combustibles, también buscan reducir las emisiones contaminantes a la atmósfera producidas por la combustión. Con esto se observa que la mayor diferencia entre los combustibles radica en la especificación mínima del índice de octanos (RON) y el poder calorífico de cada combustible. En esta investigación, se utilizaron dos tipos de combustibles, diferentes entre sí por sus

características químicas: combustible Super y Sunoco. Las características químicas de estos combustibles son importantes debido a su influencia directa en el rendimiento del motor. Por ejemplo, en el índice de octano se puede observar la medida de la resistencia que tiene el combustible a la detonación prematura, en otras palabras, permite que la detonación se lleve a cabo en el momento justo. Por lo general, cuando se utiliza un combustible inadecuado para el diseño del motor y para el lugar geográfico, es probable que se produzcan golpeteos, mostrando así un mal funcionamiento (Ghanaati et al., 2017).

Con esto, resulta importante conocer los métodos que se utilizan para medir la resistencia a la detonación de un combustible. Uno de ellos es el método de investigación RON (Research Octane Number). Se utiliza un motor específico en un espacio controlado y, a su vez, una relación de compresión específica para evaluar la capacidad del combustible para resistir la detonación. Se simulan condiciones de funcionamiento similares a una carretera, como la alta velocidad y la temperatura de admisión. Principalmente, este método se enfoca en las condiciones de baja a media carga. El otro método se conoce como método de motor MON (Motor Octane Number). Se mide utilizando un motor de prueba diferente al del método de investigación, simulando situaciones más exigentes para el motor, lo que permite evaluar la calidad del combustible en condiciones más potentes. Un alto valor de MON indica una mayor resistencia a las detonaciones en condiciones de alta carga (Wang et al., 2017).

Otro punto importante en el análisis de potencia y torque de una motocicleta es el poder calorífico de los combustibles. Este valor de energía depende plenamente de la calidad del combustible que se esté utilizando. También se conoce como energía calórica y es la cantidad de calor que el combustible es capaz de generar al producirse la combustión. En otras palabras, cuanto mayor sea el poder calorífico del combustible, mayor será la cantidad de energía liberada durante la combustión y, por ende, mayor será la potencia generada por el motor. Esta cantidad de calor se mide en unidades de energía por una masa de combustible (J/kg) (de Paulo et al., 2022).

Con estas características mencionadas, se logra una comparativa más detallada de los combustibles utilizados en esta investigación, como el combustible Super. Este fue introducido a partir de la década de 1980, caracterizado por tener un número de octanos mayor que la gasolina regular, como un requisito para las nuevas tecnologías de motores de combustión interna de alta relación de compresión y como una contribución a la protección del medio ambiente. El número de octanos promedio de este combustible oscila entre 92 y 95, dependiendo del proveedor y de las zonas geográficas en donde se encuentre la estación de servicio (Arias, 2022; Gobierno del Ecuador, 2023).

A raíz del avance tecnológico de los automotores, se han implementado normativas y regulaciones para controlar y garantizar la calidad y seguridad de los

combustibles. Dentro de estas normativas, se incluye también el poder calorífico del combustible, que tiene un valor de 11,500 a 11,700 (kcal/kg). Este valor puede variar dependiendo del proveedor (Verduga Salazar, 2020).

Por otro lado, se tiene el combustible Sunoco, cuya aplicación abarca a categorías de vehículos de competición. Por ello, este combustible cuenta con un número de octanos mayor al del combustible Super, teniendo así un valor de 105 octanos y, a su vez, una mayor protección contra la detonación. Sin embargo, este incremento de valor no se refleja en el poder calorífico, cuyo valor en comparación con el de la Super es de 10,362 (kcal/kg) (Mosquera-Montero, 2020).

Las diferencias de las características químicas entre estos dos combustibles se pueden evidenciar en la Tabla 2.

La segunda modificación que se realizó en la motocicleta fue la sustitución de su sistema de escape. Dado que este es un elemento crucial en la entrega de potencia y rendimiento del motor, con dicha modificación se buscó mejorar los flujos de gases de escape, cumplir y reducir las regulaciones de emisiones y ruido. Además, al sustituir el sistema de escape, se logra optimizar la relación de mezcla de combustible, afinando el rendimiento del motor (fórmulamoto, 2013).

A partir de la sustitución del sistema de escape, surgieron los mapas de inyección sobre el motor. Esto se debe a que, al reemplazar el sistema de escape, es más que necesario utilizar esta configuración en la motocicleta. Esto ocurre porque su relación de mezcla aire-combustible cambia, lo que afecta al rendimiento del motor.

Es por eso que las motocicletas Yamaha cuentan con aplicaciones controlables vinculadas directamente con la unidad de control de comunicación (CCU). Una de estas aplicaciones es la Power Tuner App, exclusiva de Yamaha, que permite la configuración del sistema, como la posición y respuesta del acelerador, el tiempo de encendido, el suministro de combustible y el rango de velocidades. Además, su uso es fácil e intuitivo, lo que la convierte en una aplicación amigable para los usuarios de Yamaha.

Materiales y métodos.

Materiales.

Motocicleta.

La motocicleta utilizada en las pruebas de rendimiento mecánico fue una Yamaha YZ250FX. Este modelo en particular está diseñado para la categoría de hare scramble. Es importante conocer las especificaciones de la motocicleta a través de la ficha técnica, la cual se puede consultar en la Tabla 1, de igual forma la motocicleta que se utilizó para este estudio se la observa en la Figura 1.



Figura 1 Motocicleta Yamaha YZ250FX.

Tabla 1 Ficha técnica Yamaha YZ250FX.

Características	Modelo motocicletas
	Yamaha YZ250FX
Tipo motor	4 - tiempos, enfriado por líquido, doble árbol de levas, 4-valvulas de titanio
Potencia máxima	37,9 hp
Transmisión	6 velocidades
Relación compresión	13.8:1
Peso	111 kg
Recorrido	250 cc
Diámetro y carrera	77x53,6 mm
Sistema de encendido	Sistema TCI
Sistema de frenos delanteros	270 mm, disco flotante, mordaza de doble pistón
Sistema de frenos traseros	240 mm, disco flotante, mordaza de simple pistón
Uso recomendado	Enduro

Combustibles.

Los combustibles fueron las configuraciones principales que se realizaron en la motocicleta. Se llevó a cabo una comparación del rendimiento mecánico obtenido en el dinamómetro de chasis con estos dos combustibles. Las especificaciones de los combustibles fueron consultadas con su fabricante a través de fichas técnicas que destacan sus propiedades químicas. En la Tabla 2 se muestra una tabla comparativa entre estos dos combustibles.

Tabla 2 Ficha técnica Super vs Sunoco 260 GT PLUS.

Características	Sunoco 260 GT PLUS	Super
Tipo de combustibles	Gasolina	Gasolina
No. Octanos	105	92 – 95
Poder calorífico	10362 (kcal/kg)	11500 – 11700 (kcal/kg)
Calidad	Combustible de alto rendimiento y octanaje	Combustible calidad estándar
Beneficios adicionales	Mayor rendimiento en motores de competición, mejor respuesta y un menor riesgo de detonación	Adecuado para la mayoría de vehículos sin requerimientos especiales
Precio (mayo/2023)	\$32.00 dólares galón	\$4,85 dólares galón

Sistema de escape.

El sistema de escape implementado en esta investigación fue un FMF 4.1, el mostrado en la Figura 2 y sus características técnicas se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3 FMF 4.1 ficha técnica.

Sistema de escape FMF 4.1	
Características técnicas	Ahorro de peso considerable
	Utiliza una mezcla planteada de aleación de titanio de la mas alta calidad
	Ganancia masiva de potencia en todo el rango de las RPM
	Tapón final de carbono



Figura 2 Sistema de escape FMF 4.1.

Dinamómetro de chasis.

El dinamómetro de chasis que se utilizó en esta investigación fue un AutoDyn 30 de la marca SuperFlow. Las especificaciones del dinamómetro se pueden evidenciar en la Tabla 4 siguiendo sus ilustraciones en la Figura 3 y Figura 4

Tabla 4 Dinamómetro de chasis ficha técnica.

AutoDyn Super Flow 30	
Diámetro del rodillo	76.2 cm
Carga máxima	3629 kg
Velocidad máxima	362 km/h
Potencia máxima	2500 hp



Figura 3 Dinamómetro de chasis.



Figura 4 Rampa de dinamómetro.

Metodología.

Se revisaron términos científicos como la potencia y el torque en una motocicleta, y cómo influyen en la competencia y la categoría de hare scramble. Con esto, se compararon las diferentes propuestas de costos en relación con las modificaciones a realizar en la motocicleta. Se identificaron los diversos tipos de combustibles que existen en Ecuador y cómo varían en términos de propiedades químicas y costos. Además, fue importante analizar los sistemas de escape que pueden ser utilizados en la motocicleta y cuál de estos resulta factible en términos de rendimiento y costo al momento de realizar las pruebas.

Con los combustibles Super y Sunoco ya definidos, se llevaron a cabo investigaciones asociadas con las propiedades químicas, utilizando laboratorios ubicados en la Escuela Politécnica Nacional. A partir de estas investigaciones, se obtuvieron valores relacionados con el número de octanos y el poder calorífico de estos dos combustibles. Con estas investigaciones, se buscó lograr una mayor comparativa en relación con el costo-beneficio.

Los métodos utilizados para estas pruebas fueron RON (Research Octane Number) y MON (Motor Octane Number). El envío de los combustibles se realizó mediante botellas anticongelantes de un litro, las cuales fueron empaquetadas y llevadas hasta el laboratorio.

Se plantearon cuatro configuraciones, con las cuales se llevaron a cabo las pruebas en el dinamómetro. En cada configuración, se consideró una serie de combinaciones en torno a las modificaciones realizadas en la motocicleta. Estas combinaciones fueron las que se muestran en la Figura 5.

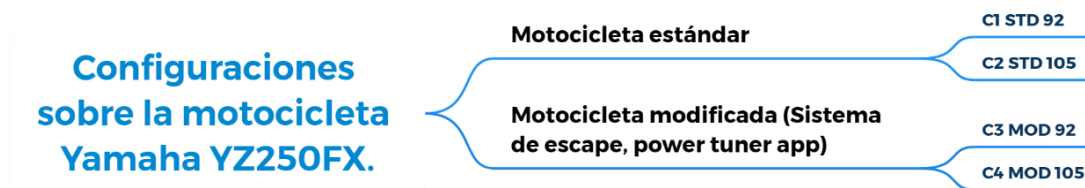


Figura 5 Configuraciones Yamaha YZ250FX.

En la Figura 5 se presentan las configuraciones realizadas en la motocicleta. La motocicleta estándar se desglosó en C1 STD 92 y C2 STD 105, refiriéndose a la motocicleta estándar con Super y Sunoco, respectivamente. La motocicleta con el sistema de escape ya acoplado se definió como C3 MOD 92 y C4 MOD 105, de igual manera con Super y Sunoco, respectivamente.

Con las configuraciones ya definidas, antes de realizar las pruebas, se llevó a cabo un mantenimiento previo, que consistió en cambiar el aceite y el filtro de la motocicleta. Además, se sustituyó el neumático trasero de la motocicleta por uno liso para garantizar el correcto funcionamiento en el dinamómetro. Posteriormente, la motocicleta fue

asegurada al banco de pruebas, y se garantizó que el espacio de trabajo fuera seguro para todos los presentes. Este proceso se evidencia en la Figura 6 y Figura 7 respectivamente.



Figura 6 Cambio a neumático liso.



Figura 7 Motocicleta sujeta en el dinamómetro.

Para montar la motocicleta en el dinamómetro de chasis, se siguieron los siguientes pasos establecidos por el manual del operador "SuperFlow – Dynamometers and Flowbenches" SuperFlow, (2019). La motocicleta ya asegurada se muestra en la Figura 8 y con su ventilador en la Figura 9.

- 1) El mecanismo de bloqueo del rodillo se activó mediante el comando "Roll Lock" presente en la interfaz del controlador, inmovilizando eficazmente el componente.
- 2) Se colocó el neumático liso trasero en el rodillo del dinamómetro; fue importante encontrar un punto estable para la motocicleta.
- 3) Se sujetó la motocicleta con correas, tanto en el neumático delantero como en el posterior; fue crucial que las correas no estuvieran cerca de elementos rotatorios ni calientes.
- 4) Se permitió que la motocicleta se moviese para que el neumático trasero se centrara en los rodillos.
- 5) Se ajustaron las correas para evitar el movimiento hacia adelante y hacia atrás.
- 6) Instalación de sistemas de extracción de escape y ventiladores de enfriamiento.
- 7) Se instaló un captador de velocidad del motor y sensores como un tacómetro de rueda.
- 8) Se calentó la motocicleta para la realización de las pruebas.



Figura 8 YamahaYZ250FX sujeta.



Figura 9 Ventilador de enfriamiento.

Con todos los componentes mencionados listos y la motocicleta asegurada, se procedió a la toma de datos, iniciando la computarización del sistema AutoDyn. Los pasos para un inicio rápido fueron los siguientes:

- 1) Se abrió el grupo de “Pruebas deseado”.
- 2) Se verificaron las condiciones climáticas y que los valores de torque y potencia sean igual a cero.
- 3) Fue importante ingresar el nombre del archivo y guardarlo en una carpeta deseada.
- 4) Se ajustaron las especificaciones del vehículo; en este caso, al ser una motocicleta, se configuró el dinamómetro para vehículos. Esto incluyó la introducción de datos como el diámetro de la rueda de la motocicleta.
- 5) Se especificó el tipo de pruebas que se deseaban realizar.
- 6) Los sensores se reiniciaron presionando “Autozero” y “Todos los canales”.
- 7) Utilizando un sensor dirigido hacia la rueda trasera de la motocicleta, se obtuvo la velocidad a la que las pruebas estaban sometidas.
- 8) Se llevaron a cabo cada una de las pruebas según se indicaba en la pantalla.

Recordar que, al configurar el dinamómetro, la motocicleta se encontraba calentándose para el correcto desarrollo de las pruebas. Con esto, se inició la toma de valores de cada una de las configuraciones, realizando un máximo de 10 pruebas por configuración para obtener un promedio en cada una de ellas. Cabe mencionar que, en cada una de las configuraciones, los pasos a seguir eran los mismos; lo que variaba únicamente era el vaciado del depósito y el llenado con los combustibles, así como la sustitución del sistema de escape. Entonces, los pasos a seguir fueron los siguientes:

C1 STD 92. Torque y potencia.

- 1) Se utilizaron los instrumentos de seguridad recomendados, como auriculares para reducir el ruido y gafas para proteger los ojos, siempre que se llevaran a cabo las pruebas.
- 2) Con la motocicleta ya en un estado caliente, se procedió a acelerarla. Es importante considerar que antes de alcanzar los 25 km/h, se debe realizar el cambio a tercera marcha.

- 3) Se llevaron a cabo un total de 10 pruebas para calcular un promedio entre todas ellas.
- 4) Después de la última prueba, se permitió que la motocicleta frenara gradualmente. Fue crucial esperar a que los rodillos se detuvieran por completo antes de salir de la motocicleta.
- 5) Para observar los resultados de las pruebas, fue necesario abrir un cuadro de diálogo con la tecla 'Shift F3'. Con el visor de datos de WinDyn, se almacenaron y analizaron los datos.
- 6) Se descendió de la motocicleta para la siguiente configuración.



Figura 10 Pruebas configuración C1 STD 92.

La Figura 10 muestra el momento en que las pruebas se realizaron.

C1 STD 92: Capacidad de aceleración.

- 1) Para las pruebas de capacidad de aceleración, se aceleró la motocicleta hasta alcanzar los 100 km/h, siguiendo los mismos pasos que en las pruebas anteriores. Esto incluye el calentamiento de la motocicleta, la configuración del dinamómetro y la observancia de consideraciones de seguridad.
- 2) Los datos se guardaron en la aplicación del dinamómetro y se prepararon para su interpretación en aplicaciones como hojas de cálculo de Excel.

C3 STD 92: Torque y potencia.

- 1) Se pasó directamente a esta configuración para que el combustible Super se consumiera por completo.
- 2) El sistema de escape se sustituyó retirando dos pernos del lado lateral derecho.
- 3) Se acopló el sistema de escape FMF 4.1 a la motocicleta, colocando los mismos pernos en el lado lateral derecho.
- 4) Al sustituir el sistema de escape, fue necesario realizar una configuración en los mapas de inyección de la motocicleta, utilizando aplicaciones móviles como PowerTunerApp.
- 5) Se seleccionó el mapa adecuado, buscando principalmente un aumento en el torque y potencia de la motocicleta. Este mapa fue descargado desde la página oficial de Yamaha con el nombre de 'MXPowerFeeling'.
- 6) Con el mapa ya descargado, se conectó a través del módulo de la motocicleta ubicado en la parte superior del sistema de escape.

- 7) Se verificó que todo estuviera listo para la toma de datos de la tercera configuración.
- 8) Se realizaron las pruebas con la configuración C3 STD 92.
- 9) Los datos se guardaron en la aplicación del dinamómetro y se prepararon para interpretarlos en aplicaciones como hojas de cálculo de Excel.



Figura 11 Sustitución del sistema de escape.



Figura 12 Mapa de inyección seleccionado.

En la Figura 11 se evidencia la sustitución del sistema de escape, de igual forma la selección del mapa de inyección en la Figura 12.

C3 STD 92: Capacidad de aceleración.

- 1) Se preparó el dinamómetro para esta nueva prueba de capacidad de aceleración.
- 2) Se colocó los implementos de seguridad.
- 3) La motocicleta aceleró hasta alcanzar 100 km/h, siguiente a esto se fue frenando para el guardado de datos e interpretación.

C2 STD 105: Torque y potencia.

- 1) Con las configuraciones del combustible Super realizadas, se retiró restantes de este combustible mediante succión con una manguera.
- 2) Se retiró el sistema de escape FMF 4.1 retirando los dos pernos del lado lateral derecho.
- 3) Se acopló el sistema de escape estándar colocando de igual forma los dos pernos, con eso fue necesario configurar nuevamente los mapas de inyección, seleccionando el mapa que viene con la motocicleta de stock.
- 4) Con el depósito de combustible ya vacío y limpio, hubo un llenado de combustible Sunoco en la motocicleta.
- 5) Se colocó los implementos de seguridad y se preparó el banco dinamométrico.
- 6) Se realizaron las pruebas con esta configuración.
- 7) Se guardaron los datos de las pruebas para poderlas interpretar en hojas de cálculo Excel.



Figura 13 Mapa de inyección seleccionado.



Figura 14 Llenado de combustible Sunoco.

La succión del combustible Super y el llenado del depósito con el combustible Sunoco se pueden observar en la Figura 13 y Figura 14 respectivamente.

C2 STD 105: Capacidad de aceleración.

- 1) La motocicleta aceleró con todas sus marchas hasta alcanzar la velocidad de 100 km/h. Una vez que alcanzó este punto, se dejó de acelerar y se procedió a frenarla.
- 2) Se guardaron los datos y valores de las pruebas, y se prepararon para su interpretación.

C4 MOD 105: Torque y potencia.

- 1) Se retiró el sistema de escape estándar y se colocó el FMF 4.1, retirando los pernos anteriormente mencionados.
- 2) Con el sistema de escape modificado, se activaron los mapas de inyección descargados. La motocicleta muestra una luz de encendido azul, notificando que el mapa seleccionado está activado.
- 3) Fue importante revisar la configuración del dinamómetro para la correcta toma de datos y asegurarse de que los implementos de seguridad ya estén colocados.
- 4) Se llevaron a cabo las 10 pruebas con esta configuración.
- 5) Los datos se guardaron en la aplicación del dinamómetro y se prepararon para su interpretación mediante aplicaciones como hojas de cálculo Excel.



Figura 15 Mapa MXPowerFeeling seleccionado.

Activación del mapa de inyección se muestra en la Figura 15.

C4 MOD 105: Capacidad de aceleración.

- 1) En las pruebas de capacidad de aceleración, se preparó el dinamómetro para la toma de datos.
- 2) Se permitió que la motocicleta acelerara hasta alcanzar los 100 km/h.
- 3) Se guardaron los datos ingresados de esta prueba.

Con la última configuración realizada, se procedió a enfriar la motocicleta apagándola. Los resultados de cada configuración se guardaron en el ordenador del dinamómetro y se exportaron a una memoria para su interpretación. Los valores utilizados en este estudio fueron el tiempo que tomó realizar la prueba, dado a una frecuencia de 20 Hz, es decir, 20 datos por segundo, y las revoluciones marcadas en ese lapso de tiempo. Según eso, se trabajó de la siguiente manera.

Las revoluciones por minuto (RPM) dadas por el dinamómetro eran las RPM en la rueda. Para este estudio, fue necesario obtener las RPM en el motor para evaluar su desempeño. Para este valor, se requirieron datos de la relación de transmisión de cada cambio, la relación de la catalina y el radio de reducción primario de la motocicleta. Todos estos datos están especificados en la información de la caja de cambios de la motocicleta, que se puede encontrar en la Tabla 5. La fórmula para las RPM en el motor se observa en la Ecuación 1.

Tabla 5 Datos de la caja de cambios.

Caja de cambios Yamaha YZ250FX		
1ra	2.385	(31/13)
2da	1.813	(29/16)
3ra	1.444	(26/18)
4ta	1.143	(24/21)
5ta	0.957	(22/23)
6ta	0.815	(22/27)
Relación Catalina	3.923	(51/13)
Radio reducción primaria	3.353	(57/17)

Ecuación 1 Revoluciones en el motor.

$$RPM_{motor} = RPM_{rueda} * 3ra * RelacionCatalina * RadioReduccionPrimario$$

De igual forma el valor de torque que nos daba el dinamómetro era en la rueda, para calcular el torque en el motor se utilizó la fórmula que se ve en la Ecuación 2.

Ecuación 2 Torque en el motor [Nm].

$$Torque_{motor} = \frac{Torque_{rueda}}{3ra * RelacionCatalina * RadioReduccionPrimario}$$

Los valores de potencia en kW proporcionados por el dinamómetro se transformaron a hp mediante la división de kW entre 0.745.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas de capacidad de aceleración, fue necesario generar curvas que mostraran en qué segundo la motocicleta alcanza la velocidad máxima. Se analizó el tiempo en el que esto ocurre, y de igual manera, se calculó un promedio para cada una de las configuraciones. Esto permitió analizar cuál configuración ofrece un mejor desempeño mecánico en términos de aceleración.

Resultados.

Con las pruebas ya realizadas en cada una de las configuraciones, se guardaron sus resultados para proceder con la interpretación de los mismos mediante hojas de cálculo de Excel. En cada una de las configuraciones, se realizaron 10 pruebas; por ende, fue necesario calcular el valor promedio para evidenciar sus resultados, los cuales se muestran en la Figura 16.

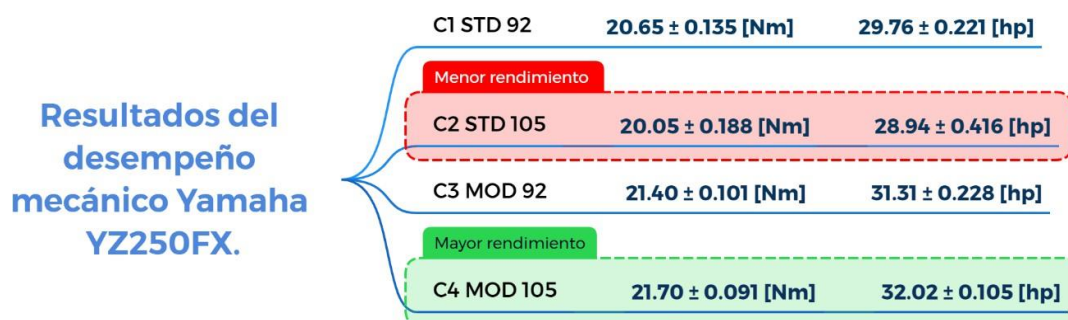


Figura 16 Resultados desempeño mecánico.

Los resultados mostrados son el promedio de cada una de las configuraciones con su respectivo intervalo de confianza. Podemos observar que la configuración con mayor rendimiento generado es la de C4 MOD 105 y la de menor rendimiento es la de C2 STD 105. Fue importante entender cómo las configuraciones se diferencian entre sí en términos de desempeño mecánico, es decir, cómo actúa una configuración con respecto a la otra.

La diferencia de error de cada una de las configuraciones en la medición de torque y potencia se las puede observar en la Tabla 6 y Tabla 7 respectivamente.

Tabla 6 Diferencia de error pruebas torque.

Diferencia de error torque [%]				
	C1 STD 92	C2 STD 105	C3 MOD 92	C4 MOD 105
C1 STD 92		-2.96%	3.56%	4.97%
C2 STD 105	2.96%		6.52%	7.93%
C3 MOD 92	-3.56%	-6.52%		1.41%
C4 MOD 105	-4.97%	-7.93%	-1.41%	

En la Tabla 6 se muestran las diferencias entre cada una de las configuraciones. La primera configuración es la motocicleta estándar con combustible Super (C1 STD 92). En comparación con la segunda configuración, donde cambia el combustible a Sunoco (C2 STD 105), se observa un decremento en el torque del -2.96%. De igual manera, la motocicleta con el sistema de escape ya acoplado y los mapas de inyección configurados (C3 MOD 92), en comparación con C1 STD 92, experimentó un incremento del 3.56%. En conclusión, con la motocicleta modificada y el combustible Sunoco colocado (C4 MOD 105), se registró un aumento del 4.97% en comparación con C1 STD 92, siendo esta última la mejor configuración.

Tabla 7 Diferencia de error pruebas potencia.

Diferencia de error potencia [%]				
	C1 STD 92	C2 STD 105	C3 MOD 92	C4 MOD 105
C1 STD 92		-2.79%	5.06%	7.69%
C2 STD 105	2.79%		7.84%	10.09%
C3 MOD 92	-1.26%	-7.84%		2.25%
C4 MOD 105	-7.31%	-10.09%	-2.25%	

En la Tabla 7 se evidencia la potencia en cada una de las configuraciones. Donde, la configuración C4 MOD 105 es mayor a la C1 STD 92 en 7.69%; teniendo un comportamiento similar a la evaluación del torque.

Los resultados de torque en la Figura 17 y de potencia en la Figura 18.

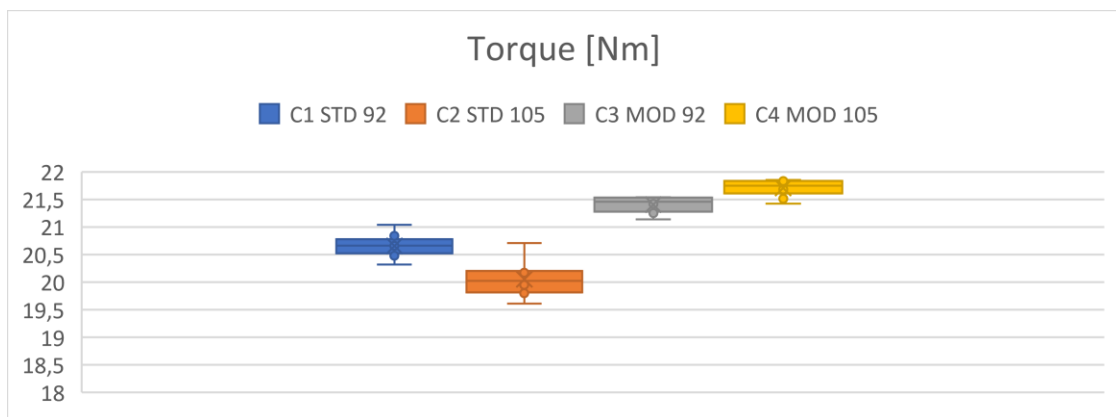


Figura 17 Resultado pruebas de torque.

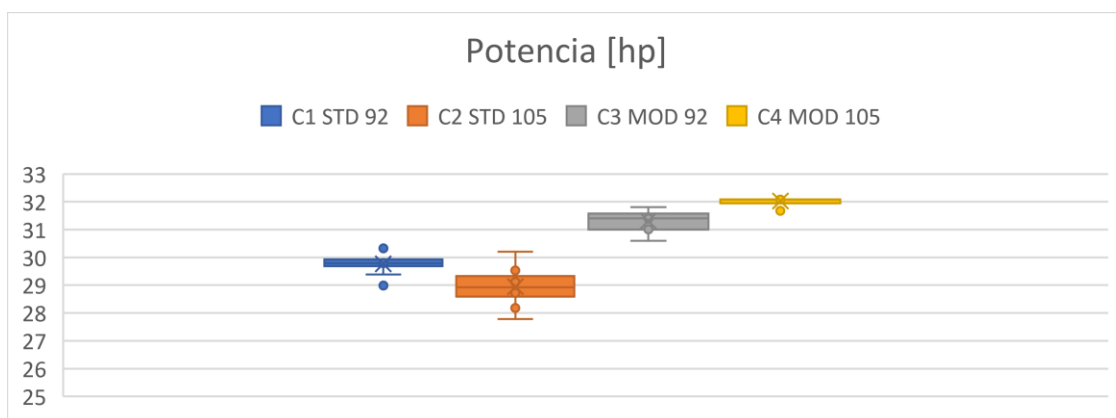


Figura 18 Resultado pruebas de potencia.

Conclusiones.

Este trabajo se centró en la medición del torque y la potencia de una motocicleta de cross country, considerando diversas modificaciones enfocadas en el desempeño mecánico. Estas modificaciones incluyeron la evaluación de dos combustibles y cuatro configuraciones, mediante el cambio del muffler de escape y la variación en el mapa de inyección. Es crucial destacar que las modificaciones se ajustaron a un presupuesto aproximado de \$1,300.00 USD, las configuraciones se muestran en la Figura 5.

Las pruebas se llevaron a cabo utilizando un dinamómetro de chasis, siguiendo las indicaciones del manual del operador del equipo. Se realizaron 20 pruebas para cada configuración, dividiéndose en 10 pruebas de torque y potencia y 10 pruebas de capacidad de aceleración, sumando un total de 80 ensayos.

A partir de las pruebas, se obtuvieron los resultados correspondientes a cada configuración. El objetivo principal de este estudio fue mejorar el rendimiento mecánico mediante las configuraciones previamente mencionadas. La configuración C4 MOD 105 destacó al generar el mayor rendimiento en la motocicleta, como se observa en la Figura 16. Aunque los combustibles Super y Sunoco desempeñaron un papel significativo en la investigación, el componente crucial fue el sistema de escape, junto con la adición de los mapas de inyección, evidenciando valores de torque y potencia incrementados en un 4.97% y 7.69%, respectivamente, en comparación con la motocicleta estándar.

Un hallazgo importante en esta investigación fue que el número de octanos fue el factor más influyente en el rendimiento del motor en relación con las propiedades químicas de los combustibles. A pesar de tener un menor poder calorífico en comparación con la Super, el combustible Sunoco exhibió un rendimiento mecánico superior, como se ilustra en la Figura 16.

En resumen, el desempeño mecánico de una motocicleta es fundamental en cualquier competición, y la categoría de hare scramble no es una excepción. Aunque la preparación y habilidad del piloto son determinantes, el desempeño mecánico juega un papel clave. Se recomienda buscar opciones que se ajusten al costo-beneficio del usuario.

Para concluir, se sugiere realizar las pruebas de capacidad de aceleración en un dinamómetro diseñado específicamente para motocicletas, ya que los dinamómetros para automóviles, al tener una masa de rodillo excesiva para la potencia de la motocicleta, pueden resultar en su apagado. Otra opción viable sería llevar a cabo las pruebas de capacidad de aceleración en una pista, utilizando el GPS para medir el tiempo que la motocicleta tarda en alcanzar la velocidad deseada, conforme a la normativa SAE J1491_2006 (Vehicle Acceleration Measurement).

Además, es importante tener en cuenta que simplemente al utilizar el combustible Sunoco de alto octanaje, no se debe esperar un aumento en potencia y torque, ya que los resultados indican que este combustible funciona de manera más eficaz en conjunto con el sistema de escape modificado, logrando un mayor rendimiento en la motocicleta.

Referencias.

- Alvarez-Moscoso, J. P. (2018). *UNIVERSIDAD DEL AZUAY FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ Autor Cuenca-Ecuador 2018.*
- Arias, L., Otero, S., & Fraga, J. (2022). *Comportamiento del rendimiento y el nivel de contaminación entre la gasolina Súper y Ecopais.*
- Byrne, G., & O'Shaughnessy, S. M. (2020). Performance characteristics and exhaust gas analysis of a diesel engine using biodiesel fuel blends. *Biofuels*, 11(3), 297–308. <https://doi.org/10.1080/17597269.2017.1358943>
- Cordero Joaquin, Gustavo, I., & Coello, A. (2023). *Universidad del Azuay Facultad de Ciencia y Tecnología Escuela de ingeniería automotriz.*
- de Paulo, E. H., dos Santos, F. D., Folli, G. S., Santos, L. P., Nascimento, M. H. C., Moro, M. K., da Cunha, P. H. P., Castro, E. V. R., Cunha Neto, A., & Filgueiras, P. R. (2022). Determination of gross calorific value in crude oil by variable selection methods applied to ¹³C NMR spectroscopy. *Fuel*, 311, 122527. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2021.122527>
- fórmulamoto. (2013). *Sistemas de escape.* <https://www.formulamoto.es/tecnologia-accesorios/sistemas-de-escape/13207.html>
- Ghanaati, A., Muhamad Said, M. F., & Darus, I. Z. M. (2017). Comparative analysis of different engine operating parameters for on-board fuel octane number classification. *Applied Thermal Engineering*, 124, 327–336. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2017.06.013>
- GNCC Racing. (2023). *2023 GNCC Pro Competition Rules - GNCC Racing.* <https://gncracing.com/pro-rules>
- Gobierno del Ecuador. (2023). *GASOLINA SÚPER CON NUEVO OCTANAJE – EP PETROECUADOR.* <https://www.eppetroecuador.ec/?p=6276>
- Kamil, I., Soeharwinto, & Fachrizal, F. (2021). Re-programming Electronic Control Unit for Increase Torque and Power a Motorcycle. *Journal of Physics: Conference Series*, 1898(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1898/1/012011>
- Masi, M., Toffolo, A., & Antonello, M. (2010). Experimental analysis of a motorbike high speed racing engine. *Applied Energy*, 87(5), 1641–1650. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2009.09.033>
- Mosquera-Montero, A. (2020). *ANALISIS DE LAS PROPIEDADES DE LA GASOLINA SUPER Y ECOPAIS COMERCIALIZADA EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL AL SER MEZCLADO CON UN ADITIVO.*
- Pušár, M., & Bigoš, P. (2012). Method for accurate measurements of detonations in motorbike high speed racing engine. *Measurement*, 45(3), 529–534. <https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2011.10.014>

- Raghuvaran, S., Ashok, B., Veluchamy, B., & Prakash, B. (2020). Varying of horse power and torque in two wheeler's by using sprockets. *Materials Today: Proceedings*, 37(Part 2), 1195–1202. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.368>
- SuperFlow. (2019). Operator Manual. In 2019. https://superflow.com/wp-content/themes/SuperFlow2020/downloads/CycleDyn_Op_Manual.pdf
- Verduga Salazar, I. (2020). *Estudio del poder calorífico en combustibles extra y súper utilizando mezclas parciales de aditivos*. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4177>
- Wang, C., Prakash, A., Aradi, A., Cracknell, R., & Xu, H. (2017). Significance of RON and MON to a modern DISI engine. *Fuel*, 209, 172–183. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2017.07.071>

Anexos.



Figura 19 Motocicleta con los mecanismos de ventilación.



Figura 20 Sujeción de la motocicleta en el banco dinámico.



Figura 21 Ensayo en el dinámico de chasis.



Figura 22 Llenado del depósito de combustible.



Figura 23 Llenado del depósito de combustible.

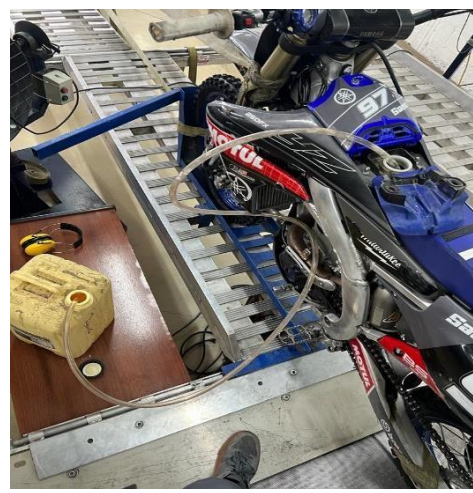


Figura 24 Succión del combustible en el depósito.



Figura 25 Ensayo en el dinamómetro de chasis.



Figura 26 Ensayo en el dinamómetro de chasis.



Figura 27 Motocicleta Yamaha YZ250FX.



Figura 28 Motocicleta modificada con el sistema de escape acoplado.