



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**ANÁLISIS INFORMATIVO COMPARATIVO ENTRE MOTOR DE COMBUSTIÓN
INTERNA L4 Y MOTOR ELÉCTRICO DE APLICACIÓN VEHICULAR**

**INFORMATIVE COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN INTERNAL
COMBUSTION ENGINE L4 AND ELECTRIC MOTOR FOR VEHICULAR
APPLICATION**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Electrónica

AUTOR: JHALMMAR STALIN CAMACHO MORÁN

TUTOR: ING. TEDDY JHENNSE NEGRETE PEÑA

Guayaquil-Ecuador

2023

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DE TRABAJO DE
TITULACIÓN.**

Yo, Jhalmmar Stalin Camacho Morán con documento de identidad N°120734603-0. Estudiante de la carrera de Electrónica y Automatización en la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil. Mediante el siguiente documento manifiesto que:

Soy autor y responsable del presente trabajo de titulación. Autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 25 de septiembre de 2023.

Atentamente,



Jhalmmar Stalin Camacho Morán

120734603-0

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Jhalmmar Stalin Camacho Morán con documento de identidad N°120734603-0, manifiesto mi voluntad y mediante el presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo grado titulación: ANÁLISIS INFORMATIVO COMPARATIVO ENTRE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA L4 Y MOTOR ELÉCTRICO DE APLICACIÓN VEHICULAR, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO EN ELECTRÓNICA, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 25 de septiembre de 2023.

Atentamente,



Jhalmmar Stalin Camacho Morán

120734603-0

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ing. Teddy Jhennse Negrete Peña con documento de identificación N°0912419611, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **ANÁLISIS INFORMATIVO COMPARATIVO ENTRE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA L4 Y MOTOR ELÉCTRICO DE APLICACIÓN VEHICULAR**, realizado por **JHALMMAR STALIN CAMACHO MORÁN** con documento de identificación N°120734603-0, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de **Proyecto Técnico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 25 de septiembre de 2023.

Atentamente,



Ing. Teddy Jhennse Negrete Peña, Mgtr.

091241961-1

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

Este trabajo es en agradecimiento a mis padres, hermana, y mascotas, quienes han estado conmigo desde el inicio de mis estudios universitarios, dándome fuerzas para continuar como apoyándome cuando las situaciones que se presentaban parecían no tener salida alguna.

Agradezco de igual a mis distintos docentes, a los cuales considero unos excelentes mentores y amigos con los cuales he podido compartir de buenas experiencias tanto dentro como fuera de clases en las actividades que se desarrollaron y en las experiencias que me compartieron, que hasta el día de hoy me han acompañado para recordarme que debo ser una buena persona trabajadora que siempre debe intentar estar al día con los avances tecnológicos, actualizando conocimientos tanto de nivel técnico como de cultura general y por ello les estaré agradecido eternamente.

También agradeciendo en gran medida a la divinidad suprema, quien hasta ahora me ha permitido lograr avanzar paso a paso con todas y cada una de mis experiencias el permitirme aprender un poco sobre cómo llevar la vida y cómo intentar ser un poco mejor tras cada caída, ya que: “De los errores, se aprende algo nuevo”. Gracias a esta filosofía he logrado encontrar formas y experiencias de vivir la vida que quizás jamás se me hubiesen ocurrido, permitiéndome conocer a nuevos compañeros, nuevos amigos con los que he vivido a mi culminación de estudios.

Jhalmmar Stalin Camacho Morán.

RESUMEN.

El siguiente documento constará de una comparación informativa el comportamiento de dos tipos de sistema de potencia en aplicaciones vehiculares. Siendo estos un sistema de potencia impulsado por un motor de combustión interna, mientras que otro será impulsado por un motor que es alimentado por la energía de un banco de baterías.

Este proceso será realizado mediante una simulación predictiva por modelamiento matemático, el cual nos permitirá ingresar una tabla de valores con los datos principalmente considerados para el funcionamiento ambos sistemas de potencia. Esto permitirá ajustar los tipos datos dependiendo del tipo de aplicación que se desee emplear, siendo que se evaluarán condiciones tales como: Uso personal, transporte público, trabajo ligero, trabajo medio y trabajo pesado. Cabe recalcar que estas condiciones de trabajo serán aplicadas a vehículos que van desde la gama ligera o vehículo pequeño como un auto, hasta la gama completa o vehículo de tamaño completo, más conocidas como Full Size Pick-Up, que son los vehículos más utilizados en El Ecuador.

Los resultados obtenidos, permitirán obtener un nivel de conocimiento suficientemente para lograr elegir qué tipo de aplicación es la que se deseará emplear, las ventajas como desventajas que estas ofrecen. A esto se adjuntará la comparación con pruebas reales, las cuales fueron realizadas por organizaciones gubernamentales internacionales, que tienen todas las herramientas para lograr las correctas mediciones en todos los ambientes de pruebas para las cuales cada tipo de vehículo fue diseñado en el momento de fabricación.

Otros puntos que se destacarán serán la autonomía, potencia y torque que ofrecen, siendo la autonomía el enfoque principal, para el análisis del tópico previamente mencionado, además de la manufactura de los componentes del vehículo y el peso que juegan un rol importante al momento de medir la autonomía del vehículo.

Finalmente, con todos los datos obtenidos, se podrá alcanzar una conclusión sobre cuál sería la mejor opción de compra, tomando en cuenta los factores previamente denotados, permitiendo a los interesados en adquirir algún vehículo de estas categorías realizar la inversión que crearán la mejor a corto, mediano o largo plazo.

PALABRAS CLAVE: Modelo, matemático, modelo matemático, motor, combustión, interna, eléctrico, motor combustión interna, motor eléctrico.

ABSTRACT.

The following document will consist of an informative comparison of the behavior of two types of power system in vehicular applications. These being a power system powered by an internal combustion engine, while another will be powered by an engine that is powered by power from a battery bank. This process will be conducted through a predictive simulation by mathematical modeling, which will allow us to enter a table of values with the data mainly considered for the operation of both power systems. This will allow you to adjust the data types depending on the type of application you want to use, and conditions such as: Personal use, public transport, light work, medium work, and heavy work will be evaluated. It should be noted that these working conditions will be applied to vehicles ranging from the light range or small vehicles such as a car, to the full range or full-size vehicle, which are the most used in Ecuador.

The results obtained will allow you to obtain a level of knowledge sufficient to be able to choose what type of application is the one that you want to use, the advantages and disadvantages that they offer. To this will be added the comparison with real tests, which were conducted by international governmental organizations, which have all the tools to achieve the correct measurements in all the test environments for which each type of vehicle was designed at the time of manufacture.

Other points that will be highlighted will be the autonomy, power, and torque they offer, with autonomy being the focus, for the analysis of the previously mentioned topic, in addition to the manufacture of the components of the vehicle and the weight that play an important role when measuring the autonomy of the vehicle.

Finally, with all the data obtained, it will be possible to reach a conclusion on what would be the best purchase option, considering the factors previously denoted, allowing those interested in acquiring a vehicle of these categories to make the investment that they will believe the best in the short, medium, or long term.

KEYWORDS: Engine, motor, electric, internal, combustion, internal combustion engine, electric motor, vehicle, electric vehicle, mathematical model.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	PROBLEMA.....	2
3.	OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS.....	4
3.1.	OBJETIVO GENERAL.....	4
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
4.	REVISIÓN DE LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	4
4.1.	MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA (MCI).....	4
4.2.	MOTOR ELÉCTRICO (EV MOTOR).....	5
4.3.	POTENCIA DE MCI.....	7
4.4.	TORQUE DE MCI.....	8
4.5.	POTENCIA DE EV MOTOR.....	8
4.6.	TORQUE DE EV MOTOR.....	9
5.	MARCO METODOLÓGICO.....	9
5.1.	MODELOS MATEMÁTICOS POR EMPLEARSE.....	10
5.2.	FASE DE SIMULACIÓN.....	11
6.	RESULTADOS.....	12
7.	CRONOGRAMA.....	18
8.	PRESUPUESTO.....	19
9.	CONCLUSIONES.....	19
10.	RECOMENDACIONES.....	20
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
12.	ANEXOS.....	23

1. INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo de titulación realizado consta de la simulación predictiva con fines comparativos e informativos de un motor de combustión interna de cuatro cilindros, sea este turbo cargado o de aspiración natural y un motor eléctrico. Ambos tipos de motores siendo de aplicación vehicular. Esta simulación utilizará parámetros estandarizados en conjunto de datos obtenidos por terceros que se dedican al *tunning*, *quienes*, mediante dinamómetros y sistemas de lectura computacionales de alta precisión logran medir el verdadero comportamiento de los distintos motores en las diferentes condiciones aplicados a vehículos livianos y medianos tales como autos, SUVs y camionetas pequeñas como medianas cuando está en condiciones de trabajo.

Con los resultados de las simulaciones, se compararán los datos obtenidos por las pruebas de dinamómetro, permitiendo llegar a conclusiones que permitan dar posibles recomendaciones referentes en la adquisición de los mismos al tomar en cuenta las preferencias de los distintos usuarios de automotores en el Ecuador, principalmente en la ciudad de Guayaquil, la cual actualmente se ha estado actualizando con la instalación de electrolineras con carga de alta velocidad, como la creciente adquisición de vehículos eléctricos de uso particular, público o privado.

2. PROBLEMA.

En 1834 se dio el inicio del primer prototipo de un motor eléctrico para vehículos que utilizaba baterías no recargables. A finales del siglo XIX, por los franceses Gastón Planté y Camille Faure, que inventaron la batería recargable mediante el plomo y el ácido a la cual nombraron **masa activa**. Siendo que, en la década de 1890, el fabricante Jacob Lohner en Europa, quien convencido por que los carruajes tendrían su final, presentó su propuesta de una carroza impulsada por un motor eléctrico que alcanzaba velocidades de hasta 34 km/h, con autonomía de 79 km, algo sorprendente para la época debido a su facilidad de manufactura, pero esto fue superado por los vehículos de motor combustión interna, que ofrecían potencias y autonomías superiores. [1]

Tal desarrollo se muestra en la figura 1 lo que podría hacerse un símil a la primera versión del famoso Tesla Model S de Telsa Motors.



Figura 1 One Hundred Mile Fritchle o Tesla Model S de 1908 [1]

Desde entonces, los desarrollos se vieron centrados en los motores de combustión interna, siendo estos los cuales mayores facilidades otorgaron al momento de buscar optimizaciones para otorgar mayores desempeños.

“Han pasado muchas décadas desde el primer modelo de motor para la industria automotriz, en la categoría de “control orientado” o “diseño de modelos de control”.

Estas parametrizaciones fueron establecidas para motores de cuatro, seis y ocho cilindros desarrollados a inicios de 1970 por Hazel y Flower, cuyos modelos fueron de tipo discreto con muestreo del ángulo del cigüeñal, es decir que está relacionado a las vueltas de este con la fuerza de empuje entregada mediante el pistón luego de la explosión y ésta en secuencia es dirigida a acumulador de inercia. [2]

Una vez se hubiese logrado definir este tipo de control entre entrada y salida de torque, se generó un modelo de desarrollo lineal por Powell, representando la aceleración, proceso de dinámico de admisión-yección, generación de torque y la inercia rotativa. Por lo que tomando dicho modelo de control se asumió que la entrada del sistema por conservación de masa termodinámica era constante y satisfacía las ecuaciones de estado.

Se desarrolló un estudio de función por bloques, definiendo cada entrada del sistema como admisión de aire, inyección de combustible, compresión, combustión y yección orientado a motores de seis cilindros, cuyo diseño consiste en activación y entrega de la fuerza lineal con

una diferencia de 60°, que permite dar mayor constancia con un par de secuencias de activación que son las más utilizadas, siendo estas 1-5-3-6-2-4 y 1-4-2-6-3-5 (...).” [3]

Esto permitió establecer modelos de estimación y validación que incluirían las fases estáticas y dinámicas en un dinamómetro. El cual permitiría censar las capacidades de un motor en su rendimiento de potencia, torque y autonomía. Gracias a estos resultados es que actualmente se utilizan sus parámetros que son optimizados constantemente en los desarrollos de motores cada vez más eficientes que ofrecen mayores potencias, torques y autonomías utilizando menor cantidad de combustible, es decir, su cilindraje es menor en comparación a motores semejantes o previos que para ofrecer el mismo rendimiento requerían consumir una mayor cantidad de combustible.

Luego en el año 2017. Los ahora ingenieros David Idrovo y Cristhian Loayza realizaron un análisis comparativo entre los costos operativos que estos tipos de automotores tendrían conforme a viajes realizados en ciudad como carretera. Realizando un estudio de consumo de combustible en km/galón y km/kWh con varios tipos de autos de marcas tales como: KIA Sportage LX AT, EMOlab AT, Suzuki Grand Vitara STD TM y Chevrolet Corsa Evolution 5P STD TM.

Estos vehículos a excepción de EMOlab y Corsa Evolution, tienen una cilindrada de aproximadamente 2.0L, para el caso del Corsa posee una cilindrada de 1.4L y finalmente el EMOlab es un vehículo totalmente eléctrico. Los cuales ofrecen potencias y torques bastante modestos y regulares para este tipo de vehículos que están en las categorías de Autos y SUV (vehículos utilitarios).

El EMOlab ofrece 120 HP y 285 N-m de torque. El KIA Sportage LX ofrece 140 HP y 194 N-m de torque. Con el Grand Vitara STD se obtiene 125 HP y 180 N-m de torque y finalmente con el Chevrolet Corsa se obtiene 88 HP y 113,56 N-m de torque, con los cuales se realizaron viajes desde Yunguilla (La Molienda) hasta la sede en la ciudad de Cuenca, tomando en cuenta que estaban en un rango de altura de entre 2543 msnm desde el punto de partida, hasta los 2567.8 msnm (...). [4]

Actualmente el parque automotor de Ecuador ha aumentado un 57% comparado al año 2019. A esto se adjunta una entrante ley a los subsidios de combustibles, que también incluye el nivel de restricción en las emisiones de escape.

Por ende, los conductores en busca de soluciones se ven en la necesidad de obtener un vehículo con un cilindraje menor o considerar la adquisición de vehículos con motor eléctrico e inclusive realizar un proceso denominado “electrificación” (que se realiza de forma externa al concesionario en la ciudad de Quito y futuramente en la ciudad de Guayaquil). [5]

Además de buscar conocer cuál de estos tipos de motores les conviene adquirir para corto y largo plazo, centrándose en la entrega de potencia, torque, pero sobre todo la autonomía que pueden tener por el costo-beneficio, que al menos es uno de los factores principales al momento de adquirir un vehículo automotor ya sea para uso personal, público o privado.

3. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS.

3.1.OBJETIVO GENERAL.

- Realizar simulaciones de comportamiento de un motor de combustión interna L4 y un motor eléctrico de aplicación vehicular, mediante modelos matemáticos cuyos resultados compararán con bases de datos que permitan obtener conclusiones de cuál sería la opción más viable a corto y largo plazo.

3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Levantar información necesaria sobre el fundamento del motor de combustión interna L4 y del motor eléctrico de aplicación vehicular.
- Realizar simulaciones de salida de potencia, torque, rpm y autonomía de ambos motores basado en modelos matemáticos que describen el funcionamiento de estos sistemas de propulsión: Electrical and Internal Combustion Engine powertrain models. (Solipuram, 2023)
- Analizar y comparar resultados de simulaciones con los datos reales obtenidos de bases de datos disponibles.
- Realizar recomendaciones sobre cuál de los motores convendría conforme a las necesidades y capacidades que ofertan este tipo de motores.

4. REVISIÓN DE LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

4.1.MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA (MCI)

Es un sistema de propulsión que utiliza la combustión interna, es decir, mediante un intermediario que por lo general suele ser un combustible derivado del petróleo o del tipo sintético. Este sistema está compuesto por cilindros que tiene embonado pistones, los cuales realizan el trabajo físico de presión, temperatura y volumen con la mezcla de combustible y aire. Esta mezcla es combustionada al ser comprimida hasta un máximo tolerable y dicha fuerza de es enviada al cigüeñal donde esta fuerza lineal es convertida en fuerza rotacional que será enviada al acumulador de inercia. [6]

Estos motores para vehículos livianos y medianos son utilizados en sus configuraciones de 4 cilindros en línea o en abreviatura como MCI L4, V4 cuya configuración tiene cuatro cilindros en forma V desfasados 90° entre ellos o Bóxer, una variante del V4, que tiene los 4 cilindros desfasados 180° entre estos. Como también variantes de 6 cilindros en línea o L6 como el famoso V6 cuyos cilindros están en forma de V desfasados 60° entre ellos y finalmente motores en V8 de configuración tiene 8 cilindros en forma de V desfasados 90° entre ellos.

En este caso se utilizará el motor más común para estas aplicaciones, el cual es MCI L4, que viene con sus componentes respectivos que intervienen en la conversión de fuerza lineal a fuerza rotacional. Tal como se muestra en la vista general del motor en la Figura 2.



Figura 2 Vista general de MCI L4 [7]

Con la vista general del motor de combustión interna, se procederá a denotar los principales componentes, donde ocurre el proceso de transformación de la energía química a energía lineal. Tal como se muestra en la Figura 3, el bloque de cilindros, donde se dan los procesos de admisión, compresión, combustión y escape.



Figura 3 Cilindros del MCI L4 [8]

En la Figura 4 se puede apreciar el sistema conjunto de cigüeñal, pistones y bielas que corresponden al proceso conjunto de admisión, compresión y escape. Destacándose el cigüeñal al ser la pieza que convierte el movimiento lineal en movimiento angular para realizar el giro del acumulador de inercia.



Figura 4 Pistones y Cigüeñal de MCI L4 [7]

La Figura 5 denota la biela de que es el componente que transmite y permite transformar el movimiento lineal al cigüeñal.



Figura 5 Biela de Motor [9]

4.2.MOTOR ELÉCTRICO (EV MOTOR)

Es un dispositivo que aprovecha las fuerzas eléctricas en movimiento, generando un campo magnético, el cual puede ser variable con la alternación de la señal de activación o PWM (Pulse Width Modulation).

Estos pasan a través de uno de los elementos, los cuales pueden el estator o el rotor. Si la acción se realiza mediante la alimentación del estator, este induce un magnetismo el cual induce sus campos de fuerzas sobre el rotor, provocando que este busque alinearse en dirección de los polos magnéticos del campo magnético del del estator, pero este al ser variable termina en un movimiento sin fin del rotor buscando sincronizar la polaridad del estator y es gracias al movimiento y por la frecuencia de los pulsos, estos permiten obtener una fuerza de impulso que podría decirse que es instantánea. [10]

A continuación, se procederá a mostrar una vista general del sistema de propulsión que utiliza un motor eléctrico.



Figura 6 Vista general del EV Motor [11]

Con la vista general del sistema de propulsión, se muestra el componente denominado rotor, que es el inducido y el que aprovecha el fenómeno físico de magnetismo para generar movimiento rotacional tal como se muestra en la Figura 7.



Figura 7 Rotor del EV Motor con Disipación activa [12]

En la Figura 8 se muestra el componente denominado estator, que generalmente es quien realiza la inducción magnética al rotor, además de que tienen configuraciones de alimentación monofásica o trifásica.



Figura 8 Estator de EV Motor [13]

Como otro componente nombrado rodamiento o comúnmente llamados rulimanes. Estos permiten sostener el rotor, ser ajustados en el soporte de sujeción en la carcasa de protección y

aislamiento, además de permitirle al rotor girar hasta libremente, salvo con algunas limitaciones propias dependiendo del material. Tal como se muestra en la Figura 9.



Figura 9 Rodamientos de EV Motor [14]

En la Figura 10 se muestra el armazón del motor eléctrico, que se encarga de encapsular, como aislar los componentes que realizan la inducción y movimiento, manteniéndolos protegidos y aislados del exterior. Estos también pueden tener graduaciones de protección y aislamiento, que serán seleccionados o fabricados acordes a las aplicaciones de uso.



Figura 10 Armazón de EV Motor [15]

4.3.POTENCIA DE MCI.

Es el trabajo que realiza al mover un determinado peso durante un trayecto, para el caso de los MCI L4, esta se obtiene a través del cigüeñal al momento de realizar la combustión de la mezcla en cada cilindro, contando con las siguientes variables de intervención.

Pe: Presión efectiva al freno [ft-lb2]

A: Área de cabeza de pistón [in2]

L: Longitud de carrea del pistón [in]

N: rpm del motor.

X: número de revoluciones requeridas para generar una carrera de trabajo (2 para un motor de 4 tiempos y 1 para motor de 2 tiempos)

n: número de cilindros del motor

C: desplazamiento de cada pistón [in3]

El concepto de potencia expresa cuantas veces está disponible el par motor en el tiempo, es decir, con qué velocidad se puede disponer del par. La potencia desarrollada por un motor depende de la relación de compresión y de la cilindrada, ya que a mayores valores de estas le corresponde mayor explosión y más fuerza aplicada al pistón; también depende íntimamente de

las revoluciones por minuto a las que gira el motor. En consecuencia, la potencia puede ser determinada mediante:

$$P=T*w=T*n*602\pi [16]$$

P : Potencia del motor (kW)

T : Torque o par motor (N*m)

w : Velocidad angular del eje del cigüeñal (rad/s)

n : Revoluciones por minuto (rpm)

4.4.TORQUE DE MCI.

Es la fuerza inducida al cigüeñal. Para entender cómo surge el torque en un motor de combustión, se debe tener conocimiento fundamental del mecanismo en un MCI. La explosión del combustible en el cilindro genera la fuerza que actúa a través de pistones y biela sobre el cigüeñal. En este caso el torque es el producto de la fuerza del pistón y la longitud del muñón del cigüeñal. [17]

Este proceso se muestra en la Figura 11.

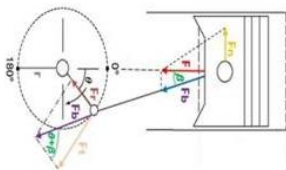


Figura 11 Fuerzas que actúan para generación de Torque de un MCI [16]

$$T=Fb*r \text{ (Jairo Catillo, 2017)}$$

T : Torque o par motor (N*m)

Fb : Fuerza sobre la biela (N)

r : Radio de la manivela del cigüeñal (m)

4.5.POTENCIA DE EV MOTOR.

$$P=T*w=T*n*602\pi [16]$$

P : Potencia del motor (kW)

T : Torque o par motor (N*m)

w : Velocidad angular del eje del cigüeñal (rad/s)

n : Revoluciones por minuto (rpm)

4.6. TORQUE DE EV MOTOR.

El par de torsión o torque en un ME dependen de tres aspectos principales que se dan en el proceso de romper la inercia del rotor del estado estático al estado rotatorio como se muestra en la Figura 12.

$$T=I \cdot A \cdot B \cdot \sin\Theta$$

Donde cada momento de rotación del motor intervienen:

I --> Corriente eléctrica en amperios (A).

A --> Área delineada por la bobina en metros cuadrados (m^2)

B --> Magnitud de campo Magnético en Teslas (T)

Θ --> Ángulo perpendicular al alambre del inductor

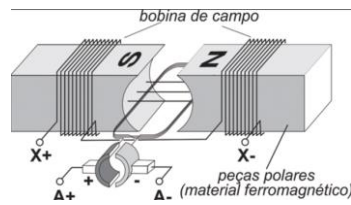


Figura 12 Variables que intervienen en torque de EV Motor [18]

5. MARCO METODOLÓGICO.

El desarrollo del trabajo constará de la simulación de modelos matemáticos que describen el funcionamiento de dos motores de aplicación vehicular, contando con parámetros normalizados y con bases de datos gubernamentales de USA, además de ser información de libre acceso.

Siendo que, los motores a simularse serían un motor de combustión interna, y el otro siendo un motor eléctrico, que pertenecen a la categoría **Compact** hasta la **Mid-Size**. Siendo el objetivo de estos modelos es predecir el comportamiento de estos motores bajo condiciones de trabajos que pueden ser: tiempo aceleración de 0 a 100 km/h o 0 a 60 mph, torque de salida, potencia de salida y autonomía ofertada.

Con este contexto sobre el desarrollo del trabajo. En el siguiente **diagrama de flujo 1**, se describirán las acciones que serán realizadas con el de alcanzar los objetivos planteados en los puntos anteriores.

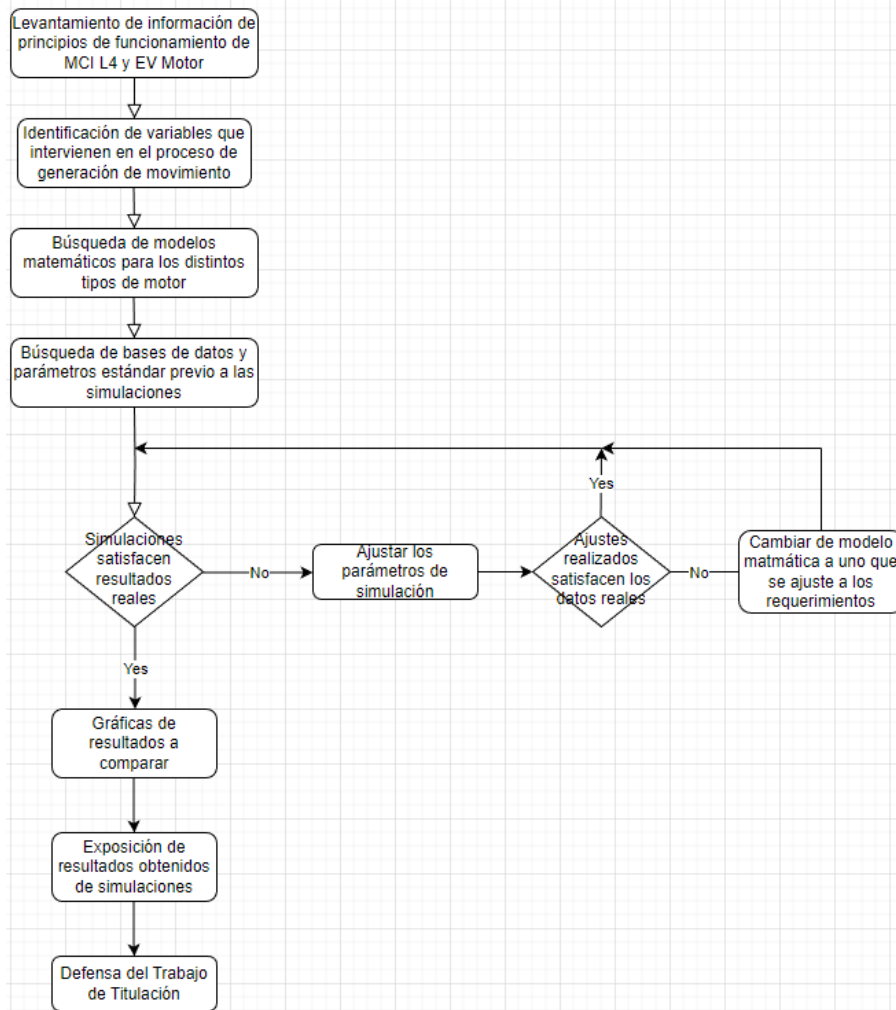


Diagrama de flujo 1 Proceso de desarrollo de TT.

5.1.MODELOS MATEMÁTICOS POR EMPLEARSE.

Durante la etapa de investigación, se encontraron modelos matemáticos que se consideraron lo suficientemente funcionales para el desarrollo de este trabajo de titulación.

Estos modelos fueron desarrollados por el investigador **Varshith Reddy Solipuram**, quien logró expresar con ecuaciones matemáticas la funcionalidad de un motor de combustión interna, el cual puede tener configuraciones que parten desde los 4 hasta los ocho cilindros, estos mismos pueden ser supercargados o turboalimentados, generalmente con sistemas de 16 hasta las 24 válvulas de control para procesos de admisión, inyección-mezclado, combustión y escape. Estas mismas se podrán apreciar en la sección de anexos.

El otro modelo consta de la expresión en forma matemática de la función de un motor eléctrico, el cual puede ser: Motor de corriente continua con escobillas o Brushed DC, sin escobillas o Brushless DC, corriente alterna o AC. Siendo en estos últimos monofásicos o trifásicos; cuya forma de control consta de la manipulación de los campos eléctricos y magnéticos con las variables de corriente o intensidad en conjunto del flujo de campo magnético.

De la misma forma estas expresiones matemáticas tienen en conjunto un sistema de transmisión de potencia-torque. El cual se configurará en modo de RWD o 2WD o también conocido como tracción trasera, el cual mediante un cardán se transmite la fuerza ejercida por el motor en la transmisión y esta mediante el elemento previamente nombrado a la corona que está ubicado en el eje trasero, el cual se configuró con el tamaño del Gear-3.21, generalmente utilizado para lograr definir una relación entre revoluciones del motor y la fuerza o torque de salida lo más eficientemente posible, manteniendo el consumo de energía lo más bajo posible. El cual, en este caso sería la gasolina regular o E85 para el motor de combustión interna y la batería de alimentación para el motor eléctrico.

5.2.FASE DE SIMULACIÓN.

Para desarrollar esta fase se deberían haber cumplido los puntos de investigación e ingeniería, ya que para lograr simular se debe comprender el funcionamiento de los modelos matemáticos. En consecuencia, de dicha fase, se procederá a realizar las simulaciones de dichos modelos, en los cuales se probarán distintas condiciones de trabajo, ya que se tomaron en consideración las condiciones de trabajo, las cuales son: Transporte privado, transporte público o taxismo, arrastre, capacidad de carga, etc.

Las cuales se procederán a describir brevemente a continuación:

- **Transporte privado:** Esta condición de trabajo, se describe como uso personal, es decir, lo utiliza una persona o una familia, para movilizarse de casa al trabajo o al instituto de educación y de vuelta a la casa. Además de realizar breves viajes para comprar o pasear.
- **Transporte público o taxismo:** Esta condición se describe como el uso de transporte de personas que parten de algún punto de la locación donde habita, y se traslada hasta un punto de destino, repitiendo esto durante varias horas al día, los cuales pueden darse en turnos matutinos, vespertinos o nocturnos.
- **Arrastre:** Para esta condición, se ve más en camionetas **Mid-Size**, los cuales están diseñados para anclar una carga al chasis del vehículo y tal como el nombre de la prueba lo describe, arrastra el cargamento partiendo de un punto A hasta un punto B, en el cual puede haber escaladas o descensos que no sobrepasen un ángulo de hasta máximo 45 grados de inclinación, bajo ciertas condiciones de fábrica o personalización de parte del usuario.
- **Capacidad de carga o payload:** En esta prueba se intenta conocer cuál es la máxima carga que puede soportar el motor del vehículo para moverse de un punto A hasta un punto B, pasando por las mismas condiciones descritas en el punto anterior, aunque considerando la capacidad del baúl para autos, SUVs y valde o cajuela para camionetas o pick-up trucks.

6. RESULTADOS.

Cuando se realizaron las primeras pruebas. Se obtuvieron los siguientes resultados de potencia, torque, rpm y eficiencia obtenidas como se muestran en los resultados de las figuras 13, 14 y 15, que pertenecen a los resultados de las predicciones de comportamiento del MCI L4.

Se observaron los siguientes resultados de las simulaciones realizadas:

- La presión interna en el motor, siendo esta de 12.5 Bar a una velocidad de giro del cigüeñal de 8 m/s la cual muestra que, a mayor velocidad del cigüeñal, la presión que induce es menor, en conjunto de que la curva de eficiencia también disminuye al requerir mayor consumo de mezcla aire-combustible. Tal como se muestra en la Figura 13.

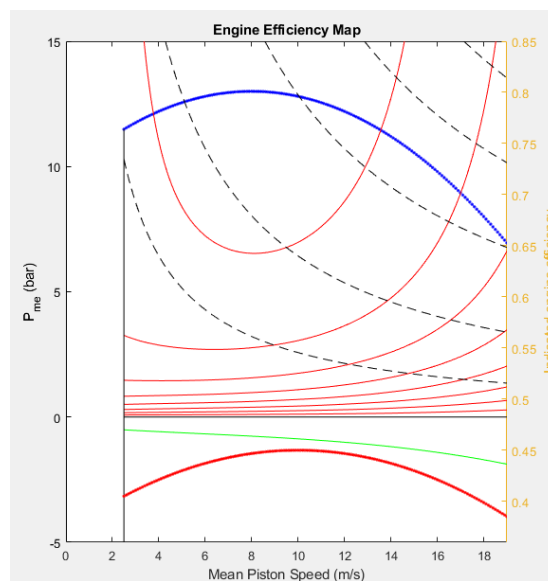


Figura 13 Curva de eficiencia Presión vs Velocidad de Pistón

- En el mapa de consumo específico. Se puede apreciar la acción del par motor o torque aplicado conforme a la velocidad de giro del cigüeñal, la cual es expresada en rad/s (velocidad angular). En este caso el comportamiento mostrado es que entre rangos 100rad/s hasta los 400 rad/s, es el área bajo la curva ideal donde se aprovecha la mayor y máxima cantidad de torque. Por igual se denota el consumo específico de combustible que crece de aparente forma lineal conforme aumenta la velocidad angular del cigüeñal, alcanzando el área de mayor torque, como al punto de divergencia, donde la rotación es tal que el tiempo que el torque es aprovechado se reduce y por ende comienza a reducirse la acción del mismo, pero también se ve un mayor consumo de combustible hasta el punto máximo, es decir el límite superior de revoluciones donde las piezas móviles se deteriorarán a un elevado ritmo, que podría afectar gravemente al motor. Tal como se muestra en la Figura 14.

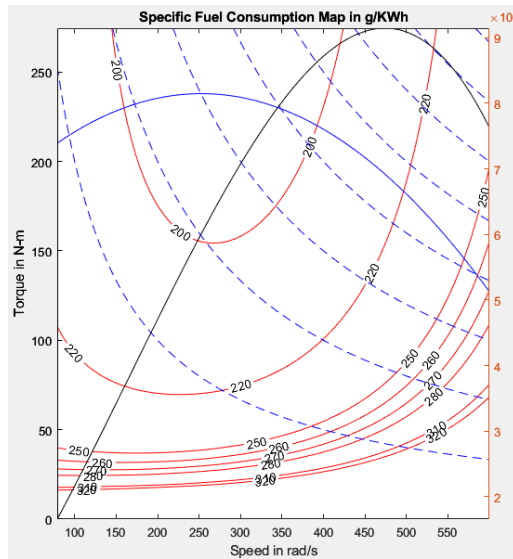


Figura 14 Curva de consumo específico Torque vs Velocidad de Cigüeñal

- Otro resultado obtenido de la simulación es la resistencia de la transmisión de 5 velocidades conforme a transiciones de 0°C hasta 21°C. Esto indica el rango de resistencia al paso de marcha cuando se parte de cierta velocidad que puede ser mayor o menor al rango de transición de la marcha. Esto indica que tanto puede resistir el sistema de engranaje de la caja de cambios al momento de hacer estos cambios que se denotan en la Figura 15.

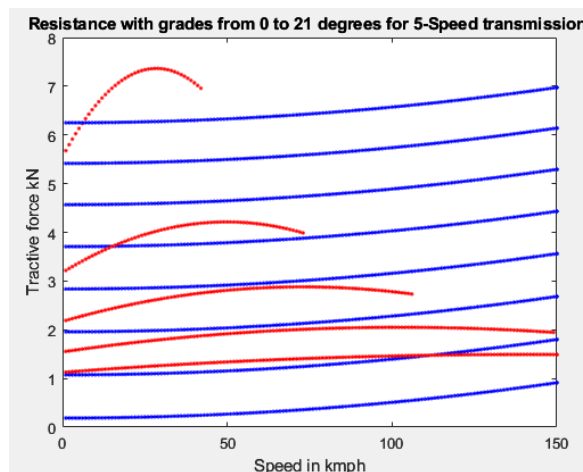


Figura 15 Curva de Resistencia de 0 a 21 grados en cambio de marchas

- En la Figura 16, se muestran los resultados de las curvas de Potencia y Torque en mapa de eficiencia, en el cual se demuestra cómo conforme el aumentan los valores de Torque, la eficiencia se tiene una mayor eficiencia, en cambio la potencia de salida se ve reducida. Esto indica que existe mayor autonomía al no requerir tanta aceleración.

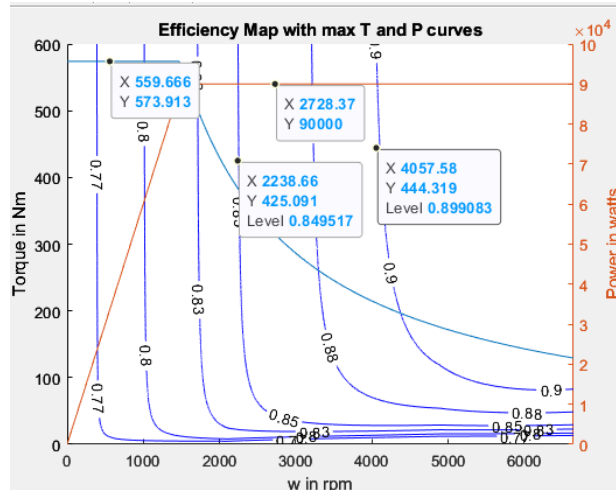


Figura 16 Mapa de eficiencia entre curvas de Torque y Potencia

Ahora al momento de realizar las simulaciones de predicción del EV Motor, retomando principalmente las variables de salida de torque, potencia y autonomía.

De esta variante de motor, se obtuvieron los siguientes resultados:

- En la gráfica o en este caso, el mapa de eficiencia cuando se tiene el torque y potencia máximos utilizando una configuración de motor que alcanza hasta los 6000 rpm como tope. Se observó que el Torque el instante cero o punto inicial es el máximo de 0 rpm hasta los 1850 rpm aproximadamente es de 573.913 N-m o 423 lb-ft aproximadamente mediante observaciones visuales hechos por personal investigador asignado para el caso. En cambio, la potencia en ese mismo intervalo muestra que logra alcanzar hasta los 90000 W (121 HP aproximadamente). Esto indica que la mayor capacidad de empuje y aceleración se alcanzan en los 1609 rpm, que se parece mucho al comportamiento de un motor a Diesel, pero resaltando que teniendo una eficiencia del 83% durante este periodo. Como se muestra en la Figura 17.

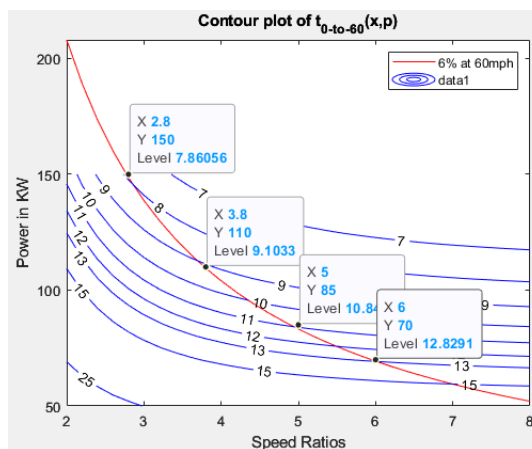


Figura 17 Gráfica de Potencia en kW vs Rangos de Velocidad

- Otro resultado obtenido de gráfico anterior. Se puede denotar que el torque disminuye conforme se va acelerando, pero el motor está fijo en lo que a potencia se refiere. Resultando en aumento gradual de la eficiencia del motor, lo que permite aprovechar toda la energía de la celda de ion de litio. Como se mostró en la Figura 17 del mapa de potencia respecto a rangos de velocidad.
- Como tercer resultado, se tiene el mapa de indicadores de eficiencia y pérdida de energía. En el cual se aprecia una curva que muestra el crecimiento de la eficiencia que crece conforme el Torque disminuía y la potencia se mantenía, indicando que se requería realizar menor esfuerzo por parte del campo magnético, lo que indica un menor uso de energía de la batería para permitir el movimiento de la carga. Tal como se muestra en la Figura 18.

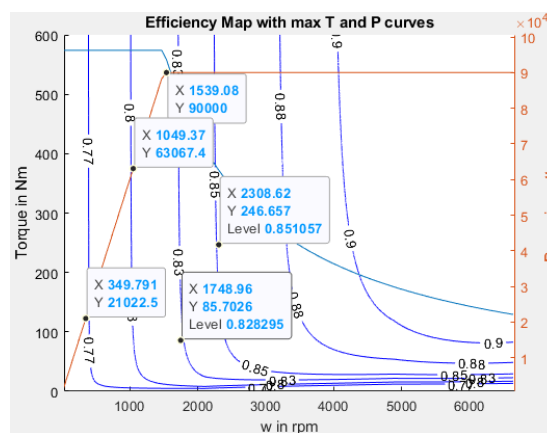


Figura 18 Mapa de Eficiencia con Toque máximo y curva de Potencia

- En el siguiente mapa gráfico. Se pueden observar un mapa de salida de Potencia para mantener una velocidad de 60 mph (aproximadamente 105 km/h). Se puede apreciar que el consumo en ese intervalo se consume cerca de 140 kW como máximo y como mínimo se consumen 60 kW conforme se vayan realizando los cambios de marcha que permiten que el motor realice menos trabajo para mantener el movimiento. Como se muestra en la Figura 19.

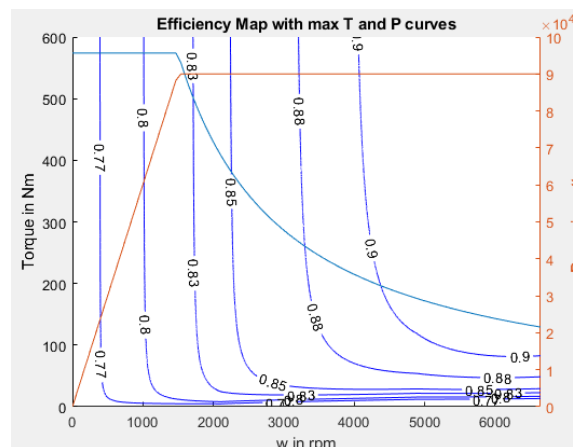


Figura 19 Mapa de Eficiencia con Torque máximo y curva de Potencia EV

Luego de estos resultados simulados, con las condiciones en lo que podría definirse como superficie plana o con algo de inclinación no mayor de 5°, con lo cual los motores son sometidos a una carga de trabajo considerada norma o citadina.

Con esto, se procedió a realizar alteraciones de ambiente de prueba, ahora dándole condiciones de inclinación como menor densidad de oxígeno. Esto porque en el Ecuador una parte de su población se ubica en zonas elevadas o montañosas, donde cada 10 metros de altura se ve reducido la cantidad de oxígeno que ingresa a la mezcla a combustionar. De igual forma ocurre una situación similar con los EV, estos al tener que desplazar el peso por una pendiente por programación o en estos casos por acciones del conductor, se centra el aprovechar todo el toque disponible, igualmente con los MCI. Esto implica que se reducen las marchas hasta una donde se aproveche al máximo el torque de salida que ofrecen y poder ascender a una velocidad constante. Dando como efecto de ser sometidos a estas condiciones de esfuerzo los siguientes resultados.

Para las simulaciones del MCI y del EV se obtuvieron con las condiciones inclinación de 35°:

- La potencia de salida se vio reducida, es decir, el tiempo de aceleración se vio aumentado para alcanzar una velocidad que se considera regular para los ascensos, que suele estar en el rango de 45 km/h hasta los 70 km/h como máximo. Esto al centrarse en el aumento del torque requerido para desplazar el peso, lo que indica un mayor consumo de energía, siendo los casos de mayor combustible para los MCI. Pero principalmente se centrará en la eficiencia que es mostraron durante la simulación. Tal como se muestra en la figura 20.

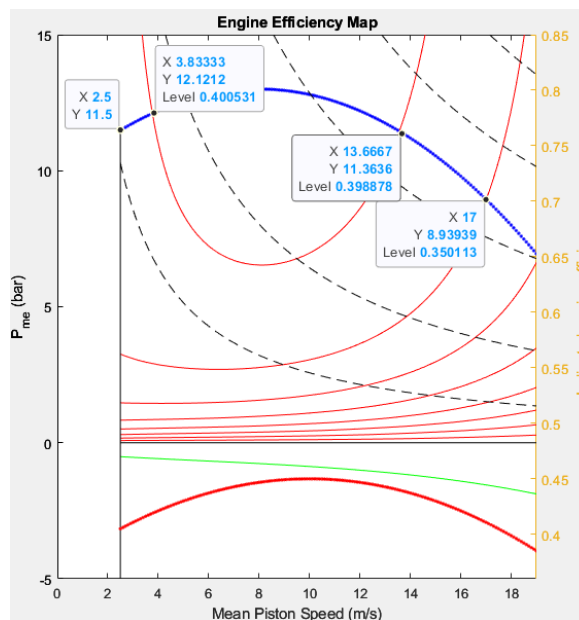


Figura 20 Resultados de eficiencia de MCI en pendiente de 35°

- En los EV se dio el caso contrario, al tener un principio de funcionamiento distinto, logró mantener la potencia de salida y lograr dar el torque máximo en todo momento,

salvo que con un mayor corriente que es lo que requiere al tener que movilizar una carga en plano inclinado. Tal como se muestra en la figura 21.

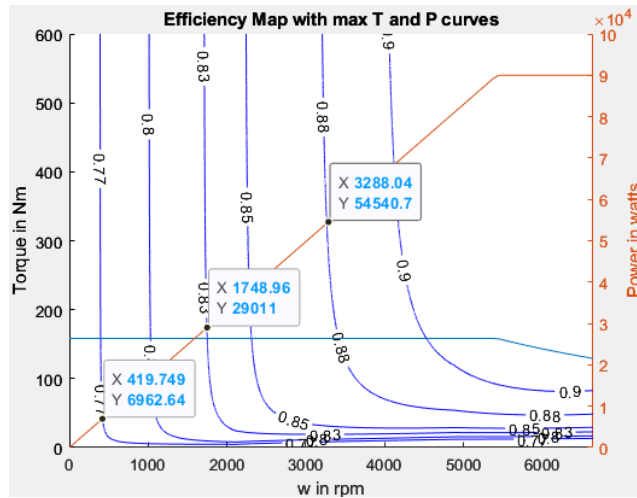


Figura 21 Resultados de EV en pendiente de 35°

- Como otro resultado, se denotó un aumento de temperatura al estar siendo sometidos a condiciones de plano inclinado, lo que indica que se requiere una mayor cantidad de energía para lograr desplazar el vehículo, teniendo variaciones conforme el peso que se encuentre cargando.
- En las curvas de eficiencia. Se tiene como resultado que, para el caso de los MCI. Estos índices se reducen en un margen considerable, siendo solo eficientes en un máximo del 45%, lo que indica la energía se desperdicia tanto como calor, como gases de escape debido al hecho de que la mezcla no pudo combustionada completamente. Para el caso de los EV, estos en su eficiencia también se ve reducida, pero no tanto como los antes mencionados, siendo un 85% eficientes, tendiendo la mayor pérdida como calor al requerir mayor cantidad de amperaje para lograr conservar el estado de movimiento, reduce la carga de la batería a ritmo un poco acelerado que se denominaría ritmo normal o regular. Tal como se muestra en la figura 22.

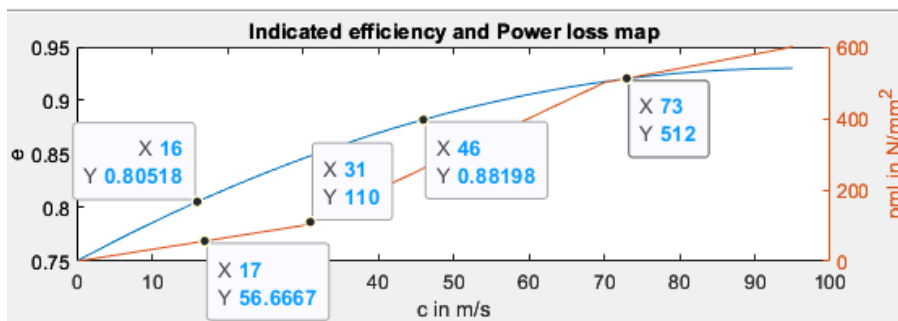


Figura 22 Resultados de Mapa de Eficiencia de EV y MCI en pendiente de 35°

7. CRONOGRAMA.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																								
	Mes	Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre		
	Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1 - 2		
	Actividad																							
1	Levantamiento de información sobre MCI como EV.	■	■	■	■																			
2	Identificación de variables que intervienen el proceso de generación de movimiento.					■	■																	
3	Búsqueda de modelos matemáticos que satisfagan las necesidades del objetivo trazado.						■	■	■															
4	Búsqueda de base de datos con resultados reales del comportamiento de cada tipo de motor.						■	■	■															
5	Definición de modelos previo a fase de simulaciones de predicción.									■	■													
6	Fase de simulaciones de comportamiento de modelos de matemáticos.									■	■	■	■	■	■	■	■							
7	Fase de comparación de resultados obtenidos para comparar con las bases de datos de pruebas reales.															■	■	■						
8	Exposición de resultados obtenidos de las comparaciones de																	■	■	■				

distribución por piñones; tomando el uso directo del primero tipo mencionado previamente.

- Para el modelo EV, solo se toma en cuenta el diseño de la distribución mediante envío directo del torque al sistema de transmisión y este a la corona que conecte las ruedas, siendo este que pueda ser de tracción trasera, delantera, 4WD u AWD. O a su vez, la versión del control directo de los motores cuando se tiene una configuración de dos motores eléctricos conectados a cajas reductoras y estos a las ruedas del vehículo.
- En el caso aplicado del EV. Este depende de controladores de precisa recepción, filtrado, transducción, procesado y envío de las señales de corriente; como también del correcto sistema de carga y transmisión de la energía de las celdas de energía al inversor de potencia con una refrigeración óptima con la mayor eficiencia posible.
- De igual forma, para el sistema de aceleración del EV Car, se debe tener una gran compensación de respuesta a las señales de entrada-salida, principalmente en la frecuencia con la que se hace responder a los motores, siendo que bajas frecuencias se definen como alto Torque, baja Potencia y altas frecuencias como bajo Torque, alta Potencia.
- En ambos motores, tanto EV como MCI. Estos deben ser bien condicionados y conjugados con el sistema de marchas, que permitan adecuar correctamente el Torque ofrecido por el motor, lo que implica en el uso eficiente de la energía, que se traduce en la autonomía del vehículo. La cual puede ser mayor o menor dependiendo de la configuración.

10. RECOMENDACIONES.

- Una primera recomendación sería el hecho profundizar en la comprensión de los fundamentos de la conversión de energía química en movimiento rotacional para ambos tipos de motores, con el fin de lograr realizar optimizaciones en los resultados.
- Se sugiere lograr adjuntar el modelamiento del sistema de conversión de corriente directa a corriente alterna para el caso del sistema EV, con el fin de tomar en cuenta la eficiencia de conversión que requiere el circuito previamente mencionado ya que, este también consume parte de la energía del banco de baterías para su propio funcionamiento.
- Otra posible estrategia, es también el hecho de que se prepare varias matrices de datos de ingreso con especificaciones de otros vehículos que estén dentro del rango permitido acorde a las aplicaciones de predicción.
- Se sugiere tomar en cuenta el especificar el modelo el sistema de distribución de torque a utilizar para MCI, ya que en este caso se consideró el utilizar sólo sistema de distribución de cadenas.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1 M. Daniel, «Historia del Auto Eléctrico,» Motor Pasion, 12 Marzo 2019. [En línea]. Available:
] <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-de-los-coches-electricos>.
- [2 P. B. Cook J.A., «Modeling of an internal combustion engine for control analysis,» *IEEE Xplore*, vol.
] 8, nº 4, pp. 20-26, 1988.
- [3 B. P. Jeffrey Cook, «IEEE Control System Magazine,» August 1988. [En línea]. Available:
] https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7726?casa_token=m8wsVRe9FhEAAAAA:WC1DD2SfFouYzC2XhVRztApV0u0jZTb6gfIRUp2SdtU6_ThjPi0dNDAv008owwIx5Zp5vuNEF_sVtg.
- [4 L. F. C. S. Idrovo Pulla David Ramces, «Repositorio institucional de la Universidad Politécnica
] Salesiana, Tesis, Grado,» December 2017. [En línea]. Available:
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15082>.
- [5 L. Hora, «Parque automotor creció 13% en los últimos tres años,» La Hora, Guayaquil, 2022.
]
- [6 H. J. B., «Internal Cobustion Engine Fundamentals,» *Mc Graw Hill Access Engineering*, vol. 2nd
] Edition, 2018.
- [7 Engine-DIY, «HOWIN L4 Engine 17.2cc SOHC Inline 4 Cylinder 4 Stroke Water-cooled Electric Nitro
] IC Engine Model,» HOWIN, 2023. [En línea]. Available:
<https://www.enginediy.com/products/howin-l4-engine-model>. [Último acceso: 16 Julio 2023].
- [8 Ford, «American Cylinder Head,» ACH, 2013. [En línea]. Available:
] https://www.americancylinderheads.com/cylinder_head-Ford-1.6-liter-_-valve-L4-NA-side-Gas-_-AC118C.html. [Último acceso: 16 Julio 2023].
- [9 KUBOTA, «MOTORMAN,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.motorman.cl/biela-Kubota-17311-22012-1731122012>. [Último acceso: 16 Julio 2023].
- [1 M. P. Helmers Eckard, «Electric cars: Technical characteristics and environmental impacts,»
0] *Springer Open*, vol. 1, 2012.
- [1 Evans, «Electric Vehicles,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.electric-vehiclenews.com/2016/05/evans-electric-previews-new-axial-flux.html>. [Último acceso: 16 Julio 2023].
- [1 K. Oleksandr, «DreamsTime,» [En línea]. Available: <https://www.dreamstime.com/stock-photo-rotor-electric-motor-close-up-isolated-white-background-image53510397>. [Último acceso: 16 Julio 2023].
- [1 E. Andy, «Elec & Eltek Stator for EV and PHEV Cars,» LUSO, 2 Abril 2019. [En línea]. Available:
3] <https://www.lusoelectronics.com/elec-eltek-now-offer-stators-for-use-in-ev-and-phev-cars/>.
[Último acceso: 16 Julio 2023].

- [1 ELECTRICIDAD, «Todo sobre Circuitos,» [En línea]. Available: <https://www.circuitos-4electricos.com/rodamientos-para-motores-electricos-proposito-tipos-y-aplicacion/>. [Último acceso: 16 Julio 2023].
- [1 2 Mayo 2016. [En línea]. [Último acceso: 20223].
5]
- [1 R. V. M. J. Castillo Jairo, «Revista Politécnica,» SciElo, Marzo 2017. [En línea]. Available:
6] http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292017000100049#:~:text=Por%20lo%20tanto%2C%20el%20producto%20de%20la%20fuerza,%20%3A%20Radio%20de%20la%20manivela%20del%20cig%C3%BCe%C3%B1a%20%28m%29.
[Último acceso: 13 Julio 2023].
- [1 P. David, «Torque: qué es y cuál es su función, ¿es lo mismo que el par motor?,» motor.es, [En
7] línea]. Available: <https://www.motor.es/que-es/torque>. [Último acceso: 13 Julio 2023].
- [1 M. Humberto, «Grupo Oficina Brasil,» Grupo Oficina Brasil, 22 Febrero 2017. [En línea]. Available:
8] <https://www.oficinabrasil.com.br/noticia/tecnicas/motores-eletricos-i-conceitos-basicos-e-configuracoes-mais-utilizadas-em-aplicacoes-automotivas>.
- [1 S. Varshith, «Electric and Internal Combustion Engine powertrain models,» MathWorks, 13 Julio
9] 2023. [En línea]. Available: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/77188-electric-and-internal-combustion-engine-powertrain-models>. [Último acceso: 13 Julio 2023].
- [2 L. Blázquez, «Correa de distribución,» coches.com, 5 Abril 2019. [En línea]. Available:
0] <https://noticias.coches.com/consejos/correa-de-distribucion-que-es-y-cuando-cambiarla/333591>. [Último acceso: 2 Agosto 2023].
- [2 D. Plaza, «Cadena y correa de distribución,» motor.es, [En línea]. Available:
1] <https://www.motor.es/que-es/cadena-correa-distribucion>. [Último acceso: 2 Agosto 2023].
- [2 PDR, «Sistema de distribución,» prueba de ruta, [En línea]. Available:
2] <https://www.pruebaderuta.com/sistema-de-distribucion.php>. [Último acceso: 2 Agosto 2023].
- [2 DRiV, «Transmission Guide: Automatic vs Manual,» DR1V, 2023. [En línea]. Available:
3] <https://www.drivparts.com/parts-matter/learning-center/driver-education-and-vehicle-safety/manual-vs-automatic-car.html>. [Último acceso: 15 Agosto 2023].
- [2 D. Murias, “Motor Pasión,” 12 March 2019. [Online]. Available:
4] <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-de-los-coches-electricos>.
- [2 N. M. Klockner, «Positive and negative spillover effects from electric car purchase to car use,»
5] *Science Direct*, vol. 21, pp. 32-38, 2013.
- [2 D. J. W. M. Helmers Eckard, «Sensitivity Analysis in the Life-Cycle Assessment of Electric vs.
6] Combustion Engine Cars under Approximate Real-World Conditions,» *MDPI*, vol. 1, 2020.

- [2 I. Motores, «8 partes de una transmisión automática (y lo que hace cada parte),» [En línea].
7] Available: <https://industriamotores.com/transmision/8-partes-de-una-transmision-automatica-y-lo-que-hace-cada-parte/>. [Último acceso: 12 Julio 2023].
- [2 Redazione, «How an electric motor works in a car,» 13 Julio 2023. [En línea]. Available:
8] <https://www.electricmotorengineering.com/an-electric-motor-works-car/>.
- [2 C. Marcello, «Internal Combustion Engine Modeling (ME7440),» Ohio State University, 2016. [En
9] línea]. Available: <https://car.osu.edu/internal-combustion-engine-modeling-me7440>.
- [3 M. Humberto, «Motores Eléctricos I,» Oficina Brasil, 22 Febrero 2017. [En línea]. Available:
0] <https://www.oficinabrasil.com.br/noticia/tecnicas/motores-eletricos-i-conceitos-basicos-e-configuracoes-mais-utilizadas-em-aplicacoes-automotivas>. [Último acceso: 13 Julio 2023].
- [3 C. R. B. D. M. J. Hidalgo Gabriela, «Boletín Técnico,» Septiembre 2022. [En línea]. Available:
1] https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/ESTRA_2021/2021_BOLETIN_ESTRA.pdf. [Último acceso: 13 Julio 2023].
- [3 Margusohe, «Eficiencia de un motor de combustión interna,» Club Ensayos, 6 Noviembre 2016.
2] [En línea]. Available: <https://www.clubensayos.com/Temas-Variados/Eficiencia-de-un-motor-de-combusti%C3%B3n-interna/3697726.html>. [Último acceso: 25 Julio 2023].
- [3 Hearst-Autos, «Grand Vitara 2WD 4dr Man Package Includes,» CAR_AND_DRIVER, [En línea].
3] Available: <https://www.caranddriver.com/suzuki/grand-vitara/specs>. [Último acceso: 15 Agosto 2023].
- [3 MotorWatt, «Electric Cars & SUVs,» Motor-Watt, 2023. [En línea]. Available:
4] <https://ev.motorwatt.com/ev-database/database-electric-cars>. [Último acceso: 15 Agosto 2023].
- [3 J. H.P., «Foros Coches Eléctricos,» BOSCH, 16 Julio 2021. [En línea]. Available:
5] <https://forococheselectricos.com/2021/07/bosch-cvt-mejora-eficiencia-rendimiento.html>. [Último acceso: 15 Agosto 2023].

12. ANEXOS.

En este punto se considerará el adjuntar información que considerará curiosa o valiosa antes, durante y luego del desarrollo de este trabajo de titulación, que podría tomarse en consideración para futuros proyectos similares o repotenciaciones de estos modelos matemáticos de predicción. O simplemente se expresarán opiniones referentes a los modelos que se utilizaron para las simulaciones que mostraron el cómo debería de comportarse un vehículo, sea este utilizando un tren de potencia por combustión interna o por sistema eléctrico.

A continuación, se muestran imágenes referentes a los modelos matemáticos utilizados, siendo estos los respectivos modelos del motor combustión interna o MCI, como también del modelo de motor eléctrico o EV. Los cuales se detallan a continuación.

En el anexo 1. Se muestra una toma general de las líneas de codificación del sistema de potencia de un MCI para su ejecución en el software de soporte MATLAB. El cual mediante una serie de funciones específicas y toolboxes que fueron desarrollados como integrados ya sea por propios desarrolladores de MathWorks como por parte de investigadores y desarrolladores terceros que son parte de la comunidad de software devolvinging.

```

clear all; % Clear workspace and command window
close all; % Close all open figure windows

% Parameters
% Engine parameters
% ... (omitted for brevity) ...

% Main function
% ... (omitted for brevity) ...

% End of script
end

```

Anexo 1 Muestra de Modelo Matemático de MCI o ICE [19]

En el anexo 2. Se procederá a mostrar una imagen referencial de la codificación del modelo matemático del sistema de potencia de un EV. El cual tiene ventajas que se pueden considerar subjetivamente más sencillas de comprender y aplicar durante el desarrollo, ya que este modelo solo considera las funciones del proceso de transformación de la energía almacenada en el banco de baterías, la distribución de este a través del sistema de inversor y alternador para finalmente ser dirigido al sistema de potencia alimenta el motor, el cual dependiendo de la configuración del tren de potencia, este puede ser controlado directamente con un variador de frecuencia específico para la aplicación, como simplemente ajustarlo a una caja reductora con relaciones de engranes. Esta caja reductora, puede controlada manualmente como también de forma automático.

el desarrollo tecnológico en el proceso de manufactura se le ha dado una máxima vida útil de hasta 100000 km. Tal como se muestra en el anexo 3.



Anexo 3 Correa o banda de distribución [20]

Cadena de distribución:

La cadena de distribución es un componente que realiza el mismo trabajo que la banda o correa de previamente mencionada, el sincronizar el cigüeñal con el árbol de levas. Solo que este al ser hecho de una aleación metálica le da una ventaja superior en durabilidad y fiabilidad, que no requiere de ningún tipo de mantenimiento. Teniendo como resultado de un gran avance en la manufactura de este, otorgándole una vida útil de hasta 250000 km. Tal como se muestra en el anexo 4.



Anexo 4 Cadena de distribución [21]

Engranajes de distribución:

Este sistema de distribución fue diseñado para el mismo fin que los dos previamente descritos, solo que este cuenta con una única diferencia. Este sistema aplica directamente la sincronización del cigüeñal con el árbol de levas con un par o más piñones o engranajes dependiendo del tipo de motor, que se utiliza para la operación. Estos tienen una ventaja superior frente a los sistemas de banda y cadena, pero principalmente son utilizados para lo que considera como trabajo pesado, esto debido a que está diseñado para ser sometido a uso y abuso, sobre todo al abuso cuando se requiere de aprovechar al máximo el torque que el motor pueda proveer y con su manufactura al ser engranajes, estos tienen la mayor durabilidad del segmento. Tal como se muestra en el anexo 5.



Anexo 5 Engranajes de distribución [22]

De igual forma, así como estos sistemas de distribución son importantes para el tipo de aplicación de trabajo del automotor para el caso de los MCI.

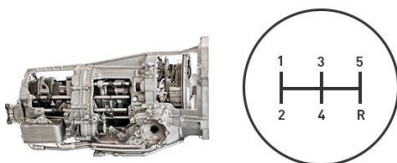
A continuación, se procederá a adjuntar un poco de información referente a las transmisiones que se utilizan y son parte del sistema potencia de tanto el MCI como del EV ya que, estas transmisiones son los componentes principales para transmitir la energía mecánica generada desde el motor hasta las ruedas del vehículo. Siendo que existen dos tipos de transmisiones las cuales se denominan:

- Manuales.
- Automáticas.

Transmisión manual:

De estas las transmisiones manuales son las más utilizadas como las más conocidas. Esto debido a la gran confiabilidad como robustes que ofrecen para las aplicaciones tales como: Transporte de carga, donde se requiere una manufactura y ajuste diseñados con el fin de aprovechar el máximo torque posible ofrecido por el motor. De igual manera, estas transmisiones tienen un funcionamiento que se considera sencillo y simple, ya que otorga el control total del performance del vehículo al conductor, además de ser las más asequibles al momento de realizar mantenimientos, reparaciones o en otros casos, la compra de alguna variante de las mencionadas.

Estas mismas pueden tener las relaciones de cambio, desde 4, hasta las de 10 marchas, aunque generalmente se ven más las de 5, 6 al no ser complejas de diseñar y adaptar al sistema de potencia de algún vehículo, constando de un sistema de embrague, el cual permite separar la conexión entre el acumulador de inercia del resto del sistema de potencia y esto permite hace que el conductor deba aprender una serie de pasos para lograr aumentar o reducir las marchas de la transmisión. Tal como se muestra en el anexo 6.



Anexo 6 Transmisión manual de 5 relaciones más reversa [23]

Transmisiones automáticas:

Por otro lado, están las transmisiones automáticas, las cuales son las que actualmente están teniendo una mayor vista a nivel del continente Sudamericano.

En este grupo existen las transmisiones denominadas como:

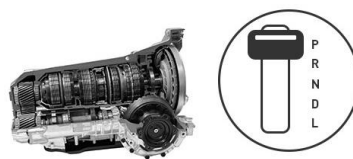
- Automáticas.
- CVT.

Transmisión automática:

Estas transmisiones son básicamente el mismo tipo que las manuales, salvo con algunas diferencias que las convierten en algo casi totalmente diferente.

Esto debido a que su manufactura está basada en sistema de órbita, con las cuales se genera un grupo de combinaciones las cuales, conforme a las revoluciones del motor, esta mediante un paquete de embragues como engranes de transición, logran aumentar o disminuir las relaciones del para aprovechar el torque el máximo o la potencia al máximo. Además de que, gracias a su diseño único, estas pueden tener relaciones de hasta 10 marchas más reversa y lograr un aumento en la autonomía del consumo de combustible para el caso de los MCI como para los EV del tipo directo.

Estas transmisiones se consideran buenas, en especial cuando son desarrolladas para aplicaciones de trabajo pesado, pero, así como ofrecen ventajas tales como el hecho de que el conductor solo debe utilizar el acelerador y el freno, mientras que la caja realiza todo el proceso necesario, dando como resultado una conducción sencilla y bastante placentera. Sus desventajas son que su mantenimiento es más costoso debido a los componentes que posee, de la misma manera al momento de adquirir una nueva su costo es considerablemente alto. Tal como se muestra en el anexo 7.



Anexo 7 Transmisión automática pura con muestra de palanca de configuraciones. [23]

Transmisión continuamente variable o CVT.

Esta transmisión es la más nueva del grupo de transmisiones automáticas.

Esta transmisión se encarga de realizar el mismo efecto que automática pura, pero su funcionamiento es un poco diferente.

Consta de un sistema de banda, aunque en realidad es una cadena de gran anchura reforzada para soportar la fricción como las temperaturas a las que se somete.

Y tal como sus siglas indican, es una transmisión que constantemente está variando las relaciones o en este caso, las aperturas de sus dos únicos engranes de radio variable, lo que permite aprovechar el torque con mayor facilidad, como la potencia con la más rapidez posible. Tal como se muestra en el anexo 8.



Anexo 8 Transmisión continuamente variable o CVT.