



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
"PEDRO RUIZ GALLO"  
ESCUELA DE POSGRADO**



**DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA  
MECANICA Y ELECTRICA**

---

---

**Modelación Energética para determinar los Flujos Óptimos de  
Energía en un Vehículo Automotriz Liviano Híbrido**

**TESIS**

Presentada para optar el Grado Académico de Doctor en  
Ciencias de la Ingeniería Mecánica y Eléctrica con  
mención en Energía

**AUTOR:**

**Celada Padilla, James Skinner**

**ASESOR:**

**Dr. Aguinaga Paz, Amado**

**Lambayeque- Perú**

**2023**

# Modelación Energética para determinar los Flujos Óptimos de Energía en un Vehículo Automotriz Liviano Híbrido

”



---

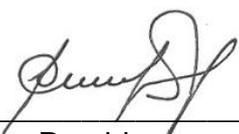
**Autor**  
**M.Sc. James Skinner Celada Padilla.**



---

Dr. AMADO AGUINAGA PAZ  
ASESOR

Tesis presentada a la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo para optar el Grado de: DOCTOR EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA CON MENCIÓN EN ENERGÍA



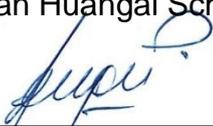
---

Presidente  
Dr. Luis Jaime Collantes Santisteban



---

Secretario  
Dr. Sebastian Huangal Scheineder



---

Vocal  
Dr. Luis Antonio Pozo Suclupe

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por seguirme iluminando cada día, así mismo un agradecimiento sincero al Dr. Amado Aguinaga Paz, por su valioso aporte en el desarrollo de la Investigación; así mismo un agradecimiento póstumo al Dr. Wilton Rojas Montoya.

James Skinner Celada Padilla

## **DEDICATORIA**

A mi Hija Lucianna Marycielo, a mi Hijo Diego Skinner y a mi Esposa Bertha Noelia, por apoyarme para la culminación de mis estudios.

A Américo y Luz Betina, mis Padres, por su apoyo de siempre.

A mis Hermanos, Amilcar Fayol, Juan Celso, Alex Nader y Rocío Elizet, por su apoyo fraternal.

James Skinner Celada Padilla

## INDICE

INDICE DE TABLAS .....	vii
INDICE DE FIGURAS .....	ix
SIMBOLOGIA .....	xi
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	14
CAPITULO I: DISEÑO TEORICO .....	15
1.1. Antecedentes de la Investigación.....	15
1.2. Base teórica.....	24
1.2.1 Vehículo híbrido.....	24
1.2.2. Generación de energía mecánica en vehículo híbrido.....	26
1.2.3. Motor Eléctrico.....	32
1.2.4. Almacenamiento de energía electroquímica.....	35
1.2.5. Regresión lineal, no lineal y multivariable.....	38
1.3. Definiciones Conceptuales.....	43
1.4. Operacionalización de Variables .....	46
1.5. Hipótesis.....	47
CAPITULO II: MÉTODOS Y MATERIALES .....	48
2.1. Tipo de Investigación.....	48
2.2. Método de Investigación .....	48
2.3. Diseño de Contrastación.....	48
2.4. Población, Muestra y Muestreo.....	48
2.5. Técnicas, Instrumentos, Equipos y Materiales de Recolección de Datos.....	49
2.6. Procesamiento y Análisis de Datos.....	51
CAPITULO III: RESULTADOS.....	53
4.1. Registro de las mediciones de los parámetros de funcionamiento del vehículo.....	53
4.1.1. Identificar Parámetros en dispositivos de conversión energética. ....	53
4.1.2. Ficha Técnica de Vehículos de Prueba.....	63
4.1.3. Parámetros de análisis.....	69
4.1.4. Registro de la Medición de Parámetros.....	69
4.2. Modelo numérico que optimice los óptimos flujos de energía.....	80
4.2.1. Modelamiento de la tendencia de los parámetros a diferentes condiciones de funcionamiento.....	80
4.2.2. Tendencia del Grado de Hibridación HV .....	100

4.3. Modelización del consumo específico de combustible.....	105
4.3.1. Consumo específico de combustible.....	105
4.3.2. Aporte de energía mecánica de los motores de combustión interna y motor eléctrico.....	112
CAPITULO IV: DISCUSIÓN.....	118
CONCLUSIONES .....	122
RECOMENDACIONES .....	124
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	125
ANEXO 1.....	129
ANEXO 2.....	130
ANEXO 3.....	131
ANEXO 4.....	132
ANEXO 5.....	133

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métodos para linealizar ecuaciones .....	38
<b>Tabla 2. Condiciones de Funcionamiento</b> .....	44
Tabla 3. Instrumentos de Recolección de datos        1/2.....	50
Tabla 4 Parámetros en la energía del combustible.....	55
Tabla 5. Energía del aire al ingreso del motor de combustión interna.....	56
Tabla 6. Energía Mecánica de salida del motor de combustión interna .....	56
Tabla 7. Energía térmica de los gases de la combustión .....	56
Tabla 8. Parámetros de la energía mecánica de ingreso al generador de corriente alterna trifásica. ....	57
Tabla 9. Energía eléctrica a la salida del generador de corriente alterna trifásica .....	57
Tabla 10. Energía Térmica a la salida del generador .....	58
Tabla 11. Energía eléctrica al ingreso del banco de batería .....	58
Tabla 12. Energía eléctrica a la salida del banco de batería.....	59
Tabla 13. Energía eléctrica al ingreso del transformador elevador .....	59
Tabla 14. Energía eléctrica a la salida del transformador elevador .....	60
Tabla 15. Energía térmica a la salida del transformador elevador .....	60
Tabla 16. Energía eléctrica al ingreso al motor eléctrico .....	61
Tabla 17. Energía mecánica a la salida del motor eléctrico .....	61
Tabla 18. Energía térmica a la salida del motor eléctrico .....	61
Tabla 19. Energía mecánica provenientes del motor de combustión interna que ingresan a la transmisión mecánica .....	62
Tabla 20. Energía mecánica provenientes del motor eléctrico que ingresan a la transmisión mecánica .....	62
Tabla 21. Energía mecánica a la salida de la transmisión mecánica .....	63
Tabla 22. Ficha Técnica de Vehículos de Prueba.....	64
Tabla 23. Flujo de energía a diferentes condiciones de funcionamiento .....	65
Tabla 24. Registro de Medición a condición de funcionamiento: Arranque y Baja Velocidad .....	71
Tabla 25 Registro de Medición a condición de funcionamiento: Conducción de crucero.....	72
Tabla 26 Registro de Medición a condición de funcionamiento: Aceleración o subida de pendientes. ....	74
Tabla 27. Registro de Medición a condición de funcionamiento: Deceleración o frenado regenerativo .....	76
Tabla 28. Registro de Medición de Consumo de Combustible para dos condiciones de funcionamiento .....	78
Tabla 29. Relación Numérica para arranque y baja velocidad.....	81
Tabla 30. Relación numérica para velocidad crucero.....	84
Tabla 31. Regresión no lineal múltiple de velocidad con torque de MCI y Torque motor eléctrico .....	86
Tabla 32 Relación numérico a condición de Aceleración y Pendiente .....	91
Tabla 33. Regresión no lineal velocidad con torque de MCI y Torque motor eléctrico, condición de aceleración y pendiente .....	93
Tabla 34 Relación numérica Deceleración o frenado regenerativo.....	97
Tabla 35 Registro de Grado de Hibridación            1/3.....	101

Tabla 36 Relación numérica de consumo de combustible a velocidad crucero .....	106
Tabla 37 Relación numérica consumo de combustible en aceleración pendiente .....	109
Tabla 38 Relaciones de velocidad, consumo y torques de MCI y Motor Eléctrico .....	113
Tabla 39. Coeficiente de relaciones numéricas .....	114
Tabla 40 Relaciones de velocidad, consumo y torques de MCI y Motor Eléctrico aceleración y pendiente .....	115
Tabla 41. Coeficiente de relaciones numéricas .....	116
Tabla 42. Torque de Motor Eléctrico que minimiza consumo de combustible	116

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Configuración Vehículo Híbrido Serie .....	25
Figura 2. Configuración Vehículo Híbrido Paralelo .....	25
Figura 3. Configuración Vehículo Híbrido Serie - Paralelo .....	26
Figura 4 Diagrama de Bloques Motor de Combustión Interna.....	27
Figura 5 Ciclo Termodinámico Atkinson .....	28
Figura 6 Curvas características de Motor de Combustión Interna .....	30
Figura 7 Angulo de Avance de un Motor de Combustión Interna.....	31
Figura 8 Motor eléctrico síncrono de imán permanente.....	32
Figura 9 Curva característica Torque y Potencia de Motor eléctrico Síncrono .	33
Figura 10 Conexiones de Motor y Generado eléctrico a Inversor .....	35
Figura 11 Módulo y Pack de Baterías Automotrices.....	36
Figura 12 Procesos Químicos: carga/descarga de batería ion-litio.....	37
Figura 13 Resistencia en la batería durante el proceso de descarga.....	38
Figura 14 . Regresión Lineal Simple.....	39
Figura 15. Gráfica de regresión lineal múltiple .....	41
Figura 16. Regresión No Lineal.....	42
Figura 17. Gráfica Regresión No lineal Múltiple .....	43
Figura 18. Lógica de Procesamiento de datos .....	52
Figura 19. Esquematación Del Flujo De Energía En Vehículo Automotriz Hibrido .....	54
Figura 20. Flujo de Energía en MCI.....	55
Figura 21 Generador de Corriente Alterna .....	57
Figura 22 Banco de Baterías .....	58
Figura 23 Transformador Elevador .....	59
Figura 24 Flujo de energía en motor eléctrico .....	60
Figura 25 Flujo de energía en transmisión mecánica de vehículo híbrido.....	62
Figura 26 Flujo de energía, condición de funcionamiento de arranque y baja velocidad .....	71
Figura 27 Flujo de energía, condición de funcionamiento de velocidad de crucero.....	72
Figura 28 Flujo de energía, condición de funcionamiento Aceleración o subidas o pendientes .....	74
Figura 29 Flujo de energía, condición de funcionamiento Aceleración o subidas o pendientes .....	76
Figura 30. Modelamiento numérico para Condición de funcionamiento: Arranque y Baja Velocidad.....	82
Figura 31 Modelamiento numérico para Condición de funcionamiento: Velocidad de Crucero.....	85
Figura 32. Modelamiento Numérico de Velocidad de vehículo y torque de MCI y Torque Motor eléctrico. Condición crucero vehículo 1 .....	87
Figura 33. Modelamiento Numérico de Velocidad de vehículo y torque de MCI y Torque Motor eléctrico. Condición crucero vehículo 2 .....	88
Figura 34. Modelamiento Numérico de Velocidad de vehículo y torque de MCI y Torque Motor eléctrico. Condición crucero vehículo 3 .....	89
Figura 35. Modelamiento numérico para Condición de funcionamiento: Aceleración y Pendiente .....	92
Figura 36. Modelamiento Numérico de Velocidad de vehículo y torque de MCI y Torque Motor eléctrico. Condición Aceleración y Pendiente vehículo 1. ....	94

Figura 37. Modelamiento Numérico de Velocidad de vehículo y torque de MCI y Torque Motor eléctrico. Condición Aceleración y Pendiente vehículo 2.....	95
Figura 38. Modelamiento Numérico de Velocidad de vehículo y torque de MCI y Torque Motor eléctrico. Condición Aceleración y Pendiente vehículo 3.....	96
Figura 39. Modelamiento numérico para Condición de funcionamiento: Deceleración o frenado regenerativo .....	99
Figura 40 Modelamiento numérico de grado de hibridación.....	104
Figura 41. Modelamiento Numérico: Consumo específico de combustible a velocidad crucero, vehículo 1. ....	108
Figura 42. Modelamiento Numérico: Consumo específico de combustible a velocidad crucero.....	111

## SIMBOLOGIA

Descripción	Símbolo
Coeficiente de Correlación Múltiple	$R_{mult}$
Coeficiente de determinación	$R^2$
Consumo específico de combustible	$Q$
Densidad del aire	$\delta_i$
Flujo Másico de aire	$\dot{m}_a$
Flujo Másico de combustible	$\dot{m}$
Generador eléctrico	MG1
Grado de Hibridación	HV
Intensidad de corriente eléctrica del motor eléctrico	IME
Intensidad de Corriente Eléctrica generador	$I_g$
Motor de Combustión Interna	MCI
Motor eléctrico	MG2
Valor de Calentamiento Bajo	$LHV$
Presión de admisión de aire	$P_a$
Presión de combustible	$P_c$
Presión Media Efectiva	$P_{ME}$
Relación No Lineal Múltiple	RNLM
Temperatura de admisión del aire	$T_{ai}$
Temperatura del combustible	$T_{ci}$
Temperatura del generador eléctrico	$T_{gs}$
Temperatura del motor eléctrico	$T_E$
Tensión de generación eléctrica	$V_g$
Tiempo de accionamiento de generador	$TT_{gs}$
Tensión de ingreso a banco de baterías	$V_{bi}$
Tensión de ingreso a transformador eléctrico.	$V_{Ti}$
Tensión de alimentación de motor eléctrico.	$V_{Ei}$
Tiempo de funcionamiento de motor de combustión interna	$TT_m$
Tiempo de funcionamiento de motor eléctrico.	$TT_{Ei}$
Torque de ingreso a generador	$T_g$
Torque Motor de combustión interna	$T_m$
Torque Motor eléctrico	$T_E$
Velocidad de giro de generador	$\Omega_g$
Velocidad de giro MCI	$\Omega_m$
Velocidad de vehículo híbrido	$v$
Volumen cilindro MCI	$V_c$

## RESUMEN

Consumir combustible en los vehículos automotrices, es un reto de los fabricantes, que cada año innovan con nuevas versiones de los modelos de las marcas en todo el mundo, siendo un parámetro de evaluación importante, al momento de la toma de decisiones por parte de los usuarios, para la adquisición de un nuevo vehículo. El objetivo de la presente investigación es realizar una modelación energética que determine los flujos óptimos de energía en un vehículo automotriz liviano híbrido.

El método que se utilizó en la determinación de los flujos óptimos de energía estuvo basado a la variación de los parámetros de funcionamiento del motor de combustión interna y el motor eléctrico de un vehículo híbrido. La información de los parámetros de funcionamiento de estos motores, se obtuvo de las mediciones que se realizaron a los vehículos de prueba de similares características, las cuales fueron comparados con los datos proporcionados por los fabricantes de dichos vehículos híbridos. Se logró determinar las relaciones lineales y no lineales de los parámetros de funcionamiento del motor de combustión interna y del motor eléctrico, a diferentes condiciones de funcionamiento del vehículo híbrido, en función a la Velocidad del vehículo, así como se estableció los valores en el cual se optimiza el consumo específico de combustible.

Los resultados evidencian que, en todas las condiciones de funcionamiento del vehículo híbrido, el grado de hibridación, que mide los tiempos de funcionamiento de manera independiente o conjunta del motor de combustión interna y del motor eléctrico, disminuyen en todos los casos a medida que se incrementa la Velocidad del vehículo. Así mismo se hizo la modelización numérica del aporte de energía mecánica del motor de combustión interna y del motor eléctrico para el accionamiento del vehículo híbrido, esta modelización se hizo en función a los torques de dichos motores.

Palabras claves: Vehículo Híbrido, Grado de Hibridación, flujo óptimo de energía, consumo de combustible.

## ABSTRACT

Consuming fuel in automotive vehicles is a challenge for manufacturers, who innovate every year with new versions of brand models around the world, being an important evaluation parameter at the time of decision-making by manufacturers. users, for the acquisition of a new vehicle. The objective of this research is to carry out an energy modeling that determines the optimal energy flows in a hybrid light automotive vehicle.

The method used to determine the optimal energy flows was based on the variation of the operating parameters of the internal combustion engine and the electric motor of a hybrid vehicle. The information on the operating parameters of these engines was obtained from the measurements that were made to the test vehicles with similar characteristics, which were compared with the data provided by the manufacturers of said hybrid vehicles. It was possible to determine the linear and non-linear relationships of the operating parameters of the internal combustion engine and the electric motor, at different operating conditions of the hybrid vehicle, depending on the speed of the vehicle, as well as establishing the values in which specific fuel consumption is optimized.

The results show that, in all the operating conditions of the hybrid vehicle, the degree of hybridization, which measures the operating times independently or jointly of the internal combustion engine and the electric motor, decreases in all cases as the time increases. increases the speed of the vehicle. Likewise, the numerical modeling of the mechanical energy contribution of the internal combustion engine and the electric motor for the drive of the hybrid vehicle was made, this modeling was done based on the torques of said engines.

Keywords: Hybrid Vehicle, Degree of Hybridization, flow optimal of energy, fuel consumption.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación tuvo como finalidad realizar un modelamiento energético de los flujos de energía para el accionamiento de un vehículo automotor híbrido, a diferentes condiciones de funcionamiento.

La problemática asociada a la investigación realizada, es que no se tiene una correlación de los parámetros de funcionamiento del motor de combustión interna y del motor eléctrico del vehículo automotor híbrido; debido a que estos tipos de vehículos vienen ingresando en pocas unidades a diferentes ciudades del Perú, existiendo desconocimiento en los usuarios, en cuánto al consumo de combustible. La transición energética involucra el cambio de la matriz energética en el sector automotriz, teniendo como meta, la electromovilidad.

Para el desarrollo de la investigación se utilizó la información de las mediciones de los parámetros de funcionamiento que se hicieron en el motor de combustión interna y el motor eléctrico de los vehículos de prueba, bajo un protocolo de pruebas; las cuales se realizaron utilizando los equipos de diagnóstico automotriz. Así mismo se estableció las condiciones de funcionamiento, el cual determinó el flujo de las conversiones de energía mecánica en eléctrica, de eléctrica en mecánica, en los dispositivos que accionan el tren de transmisión del vehículo híbrido.

En los resultados de la investigación, en función a las mediciones de la Velocidad del vehículo, y las variables mecánicas del motor de combustión interna y de las variables mecánicas y eléctricas del motor eléctrico, se hizo una modelación estableciendo las relaciones numéricas de las variables, utilizándose la matemática computacional, encontrando valores que optimizan el flujo de energía y el consumo de combustible. Finalmente, se planteó las conclusiones de los objetivos planteados, así como de las recomendaciones de la investigación realizada.

## CAPITULO I: DISEÑO TEORICO

### 1.1. Antecedentes de la Investigación.

#### **Transición Energética en el Sector Automotriz**

Noruega, país que tiene un alto Índice de Desarrollo Humano, fue el primer país en el mundo que prohibió la venta de automóviles con gasolina para el año 2025, dicha propuesta la hizo en el 2016, estableciendo una política y legislación energética, en el cual “el que contamina paga”; y en América Latina, Costa Rica prohibió la comercialización para el año 2021; en Europa, Dinamarca, Irlanda e Israel prohibieron la comercialización de vehículos con motor térmico para el año 2030, Francia para el 2040, Alemania para el año 2050. (Gómez, 2023).

En la Unión Europea, en el trimestre 3 del año 2021, alrededor del 21% de las ventas de vehículos nuevos fueron híbridos, es decir aquellos que no requieren recargarse, y que solo reutilizan la energía al momento del frenado; un 9% de las ventas correspondió a los vehículos híbridos recargables y un 10% a vehículos totalmente eléctricos. En cuanto a la venta de vehículos nuevos que solo utilizan motor de combustión interna, 39.5% fueron las ventas de vehículos con motor de nafta y 17.6% de motor diésel. (Rueda. 2021).

El Estado de California, EEUU, se convirtió en el primero estado en dicha nación, en limitar la venta de vehículos con motores de combustión interna, y ha establecido que, a partir del año 2035, todos los vehículos nuevos que se vendan, tendrán que tener la característica de ser híbridos o eléctricos; y con ello disminuir de manera drástica las emisiones al ambiente del dióxido de carbono. Esta medida constituye una verdadera transformación de la Industria del sector automotriz, y tendrá un impacto y reacción en todo el mundo. (Martínez, 2022).

Los países miembros de la Unión Europea, han aprobado en el año 2023, una medida que prohíbe la venta de vehículo nuevos con motor de gasolina y/o Diesel; con ello se busca un equilibrio perfecto entre los trabajadores, el medio ambiente y los intereses de la Industria Automotriz; teniendo la mira del uso de

vehículo eléctrico en su totalidad. La búsqueda de precios cada vez más atractivos de los vehículos que no utilice motor de combustión interna, será un reto de los grandes fabricantes en Europa. (Zambrano, 2022).

Los vehículos híbridos no recargables, comparados con los vehículos con inyección electrónica de combustible (que utilizan al Gasohol, Diesel, GLP, GNV, Etanol), en sus emisiones de CO<sub>2</sub> al medio ambiente, tienen entre 12 a 15% menos; esta disminución es variable, dependiendo si el funcionamiento es dentro de una ciudad o en las autopistas. (Instituto Francés del Petróleo y de Nuevas Energías, 2021).

La china, el gigante del Asia, evalúa que, a partir del año 2035, los vehículos nuevos que se vendan dentro del país, tienen que estar electrificados; el Ministerio de Industria y Tecnología de la Información de China, considera que para dicho año, el 50% de sus vehículos nuevos sean totalmente eléctricos, y el otro 50% sean de vehículos híbridos recargables. La eliminación de la venta de vehículo con motor térmico, será de manera paulatina, se estima que para el 2030, el 75% de vehículos será híbridos. En el año 2023, la China ha experimentado un crecimiento explosivo en la venta de vehículos híbridos y eléctricos, y ello aún tiene expectativas de mayor crecimiento, a medida que se reestablezca la confianza entre consumidores y fabricantes de vehículos, lanzando nuevos modelos al mercado. (Paul Gong, 2023).

En Latinoamérica, Brasil es el país que se suma a la prohibición de ventas de vehículos con motores de combustión interna, y mediante un Proyecto de Ley 295/23, determinó que a partir del mes de Enero del año 2035, la comercialización de los vehículos nuevos, dentro de su territorio, serán únicamente vehículo híbridos y eléctricos; dicha norma aplica a las unidades vehiculares como scooters, motocicletas, triciclos, cuadríciclos, automóviles livianos y camiones furgones que sean accionados eléctricamente. Para el caso de las unidades vehiculares pesadas, como el caso de los buses, camiones de carga, tracto camiones, tractores para uso agrícola, la fecha límite será en el año 2045, para la renovación de sus motores térmicos por eléctricos. (Neto, 2023).

Argentina, es otro país en América del Sur, que ha dado iniciativas en el uso de vehículos eléctricos e híbridos, y propone que al año 2041, se deje de comercializar vehículos híbridos; el Ministerio de Desarrollo Productivo, en coordinación con la multinacional Toyota, propone impulsar la inserción de sectores científicos y tecnológicos a fin de dinamizar el uso de los vehículos con celda de combustible. (Matías Kulfas, 2021).

En el caso de Chile, realiza estudios muy preliminares con respecto a la fecha fin de la comercialización de los vehículos con motores de gasolina y diésel; ha realizado un estudio de la Estrategia Nacional de la electromovilidad, por parte del Ministerio de Energía y Minas; en el cual plantea acelerar las metas y alinearse a los estándares internacionales; planteando que al 2035 las ventas de vehículos livianos serán de cero emisiones. Actualmente su parque automotor utiliza el 99% de energía proveniente del petróleo, el cual constituye un tercio del consumo de la energía de todo el país; tiene en su plan implementar buses eléctricos en las ciudades de Arica, Copiapó, Concepción, Valparaíso y Temuco. (Hutt, 2021)

Perú, un país con un crecimiento económico sostenido, en el 2021 reportó el inicio del impulso del uso de los vehículos híbridos, se vendieron en total 1190 unidades, es el mayor registro hasta la actualidad, cifra que representa al 0.83% de vehículos nuevos vendidos; el desconocimiento de los usuarios, la alta tasa de impuesto selectivo al consumo, el costo de la unidad, y fundamentalmente los altos costos de mantenimiento, son las principales razones de que no tengan una mayor representatividad. (Asociación Automotriz del Perú, 2021).

En países como Colombia, aún no tienen políticas energéticas encaminadas en el sector automotriz, su parque automotriz es obsoleto, con valores de emisiones de gases contaminantes, por encima de los estándares internacionales, los 2.6 millones de unidades vehiculares en promedio tiene 20 años de antigüedad, y generan alrededor de 18 millones de toneladas al año; no tiene planificado el uso de vehículos eléctricos ni híbridos, y su implementación es muy remota y no coordinada. (Asociación Colombiana de Vehículos Automotores, 2017).

La multinacional Toyota, fabrica vehículos híbridos, a fin de mitigar los efectos de la contaminación de los vehículos convencionales; teniendo dentro de sus políticas, el disfrutar la tecnología de seguridad activa, el precio de sus unidades, las condiciones de confort y el ahorro de combustible, y tiene entre sus modelos de vehículos híbridos al Camry, Corolla, Highlander, RAV4, Sienna, Yaris, Venza y Prius.

El fabricante Honda, planteó que para el año 2040, no fabricará vehículos con motor de combustión interna; y a partir de dicho año los vehículos eléctricos, serán los que comercialicen; el acuerdo es entre Honda y General Motor, en el cual utilizarán las baterías Ultium ,con gran capacidad de almacenamiento de energía química. Así mismo tiene el objetivo que para el año 2050, eliminar la huella de carbono, como consecuencia de las emisiones de sus unidades, para lo cual invertirá 3000 millones de Euros entre el 2022 y 2027. (Toshihiro Mibe, 2021).

Nissan, un grande fabricante de automóviles en el Asia, tomó la decisión de despedirse de los motores térmicos y dar paso a los vehículos eléctricos; con la característica que poseen es que el motor térmico es un mero extensor de la carga eléctrica, y deja solo al motor eléctrico para la tracción de las ruedas; con ello se tiene consumos de combustible por debajo de los competidores, resaltando las marcas de motores eléctricos como el Ariya y el Townstar. Actualmente se tiene en la versión híbrida a 6 modelos Nissan, tales como X-Trail e Power, Qashqai, Juke, LEAF 2022, Townstar, Ariya, (Pérez, 2022).

### **“Estimación de la vida útil de las baterías de los vehículos híbridos causas y consecuencias (2022)”**

Realizado por Marco Antonio Pérez-Sepa, quien hizo el trabajo de investigación de forma experimental; determinó que los factores más influyentes en la vida útil de las baterías en vehículo híbridos, son la tensión de la carga, la temperatura de la batería, la profundidad de la descarga y la Velocidad de carga de la batería. En su análisis numérico estableció una relación inversamente proporcional entre la tensión de carga y la temperatura de la batería, es decir que a mayor temperatura menor tensión de carga. Además, pudo correlacionar las variables

de intensidad de corriente eléctrica con tensión eléctrica de manera inversamente proporcional. En cuanto a la relación entre la intensidad de corriente eléctrica y la temperatura, son directamente proporcional, es decir a más temperatura más intensidad de corriente eléctrica. El estado de carga y descarga de la batería tiene un impacto significativo en su desgaste; debido a que la frecuencia alta de este proceso, existe una descarga profunda que va a exigir mayor entrega de energía a fin de lograr la carga nominal.

### **“Simulación Mediante Simulink De Un Vehículo Automóvil Híbrido En Un Ciclo Wltc (2020)”**

Presentado por Adrián Rodríguez Cubillo, en el cual corroboró que es factible realizar un modelo de un vehículo que sigue el ciclo de homologación denominado WLTC; teniendo en cuenta las simplificaciones realizadas a los datos de los parámetros de funcionamiento de los motores y del vehículo. Así mismo verificó que modelo nos da información de los consumos de combustibles, como también de las emisiones de los gases de escape.

El modelo propuesto, se hizo en función a los ensayos que se hizo al motor, determinando la presión media efectiva para cada consumo instantáneo de combustible. El estudio se hizo para un motor de combustión interna que funciona por compresión, es decir en un motor Diesel, sin embargo, siguiendo la misma metodología se puede utilizar para un motor de encendido por chispa

### **“Simulación y optimización de un vehículo de tracción híbrida, para recuperar y gestionar la energía de las baterías (2019)”**

Fue un trabajo de investigación realizado por Gallardo García, Alejandro Albeiro, una tesis tipo aplicada, que tuvo como objetivo general la recuperación y la gestión de la energía de la batería en un vehículo híbrido con configuración serie/paralelo, a fin de medir el aporte de la tracción proveniente del motor eléctrico. Realizó una simulación utilizando el entorno de programación SIMULINK, logrando obtener gráficos de funcionamiento. Los resultados de esta investigación es el diseño de una adaptación del control del vehículo a fin de optimizar el modelo. La simulación de la implementación de la variación de la estrategia de control del vehículo híbrido Marca Toyota, Modelo Prius THS II,

logró la mejora del estado de la batería. Así mismo determinó el grado de hibridación del vehículo para la configuración serie /paralelo complejo, hizo el análisis del acoplamiento eléctrico y el acoplamiento mecánico del sistema de transmisión, para funcionamiento en diferentes carreteras.

Logró en la investigación determinar que la máxima energía que recupera y gestiona la batería es de 10.9% cuando el vehículo se desplaza en lugares llanos, y de 4.4% cuando se desplaza en superficies con pendientes.

### **“Análisis comparativo del rendimiento técnico y económico entre un vehículo híbrido (prius c) y un vehículo convencional (yaris gli 1.5 a/t) (2018)”**

Este trabajo fue realizado por César José Manuel Ayasta Casiano, realizando las pruebas a fin de comparar rendimientos técnicos y económicos entre un vehículo híbrido y un convencional de la misma marca Toyota; logró determinar que el vehículo híbrido Toyota Prius C (con dos motores, uno de combustión interna y el otro eléctrico), tuvo una eficiencia del 33.7% mientras que el Toyota Yaris (con un solo motor de combustión interna) tuvo una eficiencia del 26.9%. En cuanto a los niveles de consumo específico de combustible, el vehículo híbrido utilizado como vehículo de prueba en esta investigación, consumió 1.12 galones de Gasohol por 100 km de recorrido, (equivalente a 42.39 ml/km), mientras que el vehículo convencional que se utilizó para la prueba, tuvo un consumo de 1.60 galones de Gasohol por 100 km de recorrido ((equivalente a 60.56 ml/km). El torque y la potencia mecánica del vehículo híbrido son mayores que el convencional, (para el vehículo híbrido el torque máximo es de 142 N.m a 2800 RPM, y 73 kW a 5200 RPM, para el vehículo convencional el torque máximo es de 121 N.m a 4400 RPM, y 63 kW a 6000 RPM de igual manera su costo de adquisición del vehículo híbrido es mayor que el convencional. En lo referente al grado de contaminación por los gases de escape, para un recorrido de 100000 km el vehículo híbrido emitió 9.77 toneladas de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), mientras que para ese mismo recorrido el vehículo convencional emitió 13.95 toneladas de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

### **“Análisis económico del consumo energético de un vehículo híbrido al movilizarse dentro del distrito metropolitano de Quito (2022)”**

Investigación realizada por Iván Alexander Calispa Procel y Stalin Antonio García Suárez, muestra como resultados que los costos de operación por combustible en el vehículo híbrido están en función al modo de funcionamiento, para el Modo Sport, en un recorrido el cual incluye 42% de superficie llana, pendientes menores a 3° con recorrido de 17%, pendientes de 4° recorrido de 16%; el costo fue de 3.84 dólares, y para el mismo recorrido en Modo ECO, el costo fue de 1.92 dólares. En la carga de batería para el funcionamiento en modo Eco fue menor en 4.9 kW.h con respecto a la carga de batería en modo Sport. En lo que respecta a la activación del motor eléctrico, este tuvo una participación de 17.44% en comparación con el funcionamiento del motor de combustión interna.

El consumo específico de combustible para el vehículo híbrido en promedio fue de 4.52 litros por cada 100 km de recorrido (equivalente a 45.2 ml/km). Así mismo analiza la situación del uso del vehículo en el Ecuador y entre los años 2020 y 2021, las ventas de los vehículos híbridos se incrementaron en 2.63%, teniendo como factores predominantes para este crecimiento, la preocupación de los usuarios por el medio ambiente, cambio en la normativa vehicular y el ahorro económico; en este último factor, se evidenció un ahorro que va del 20 al 60% con respecto al costo de operación por combustible de un vehículo convencional.

### **“Evaluación del ecodriving aplicado a vehículos híbridos como una herramienta de eficiencia energética. (2021)”**

Sustentado por el autor Llanes Cedeño, Edilberto Antonio, en el resumen de su investigación mencionó que el uso de los vehículos híbridos VH, pueden ayudar a la reducción de los niveles de emisiones de gases producto de la combustión; además que tiene un significativo ahorro de energía, el cual se ve reflejado en términos económicos por el uso diario. Planteó el objetivo de la investigación en evaluar la eficiencia de las baterías del vehículo híbrido Toyota Prius del año 2010, utilizando equipos de diagnóstico automotriz, aplicando el ecodriving. La metodología que aplicó fue validada por el Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación de Control de Emisiones Vehiculares

(CCICEV). Los resultados que se obtuvieron producto del análisis de las mediciones realizadas es que el valor de la eficiencia de las baterías con ecodriving fue del 86% y en la temperatura 7.5%. La conducción adecuada dentro de la realidad del trayecto, lo consideró como una herramienta de ahorro de energía, con lo cual permitió el incremento de la eficiencia de las baterías de tensión alta.

**“Caracterización del espectro de frecuencia de vibración del tren de potencia en condiciones controladas de funcionamiento del vehículo híbrido blue drive de la carrera ingeniería automotriz de la universidad politécnica salesiana – sede guayaquil (2022).”**

Presentada por la Autora Raquel De los Santos Salas Ibarra, la cual utilizó una metodología basada en las mediciones de vibraciones en el motor eléctrico del vehículo híbrido de prueba, que acciona al tren de potencia denominado Blue Drive, siguiendo lo estipulado en la norma ISO 10816-3; consistió en la siguiente secuencia de procesos: adquisición, ubicación del sensor, tiempo de medición. La recolección de los datos se hizo a través del software computacional Dewesoft, que es para el análisis de vibraciones. Para el análisis de los resultados utilizó las herramientas de la estadística inferencial, como es el análisis de varianza, logrando obtener el espectro de frecuencias, que es característico de cada condición de consumo de combustible.

Las pruebas fueron estáticas, se tuvo que simular el consumo energético en procesos de carga y descarga; se utilizó una carga adicional que fue la carga del sistema de climatización, utilizando un tiempo de 10 segundos, con lo cual se obtuvo mil muestras por segundo en cada tratamiento. Hizo dos ensayos por cada tratamiento, obteniendo diferencias no significativas. Como conclusión de la investigación es que la caracterización de cada espectro de las vibraciones, son relativamente iguales.

**“Determinación de la rentabilidad de un vehículo híbrido toyota yaris en la ruta jaén - aeropuerto shumba. (2020)”**

Presentado por Cruz Facundo, Franklin, en el cual determinó la rentabilidad del uso de un vehículo híbrido para el transporte público de pasajeros en la ciudad de Jaén. El procedimiento que utilizó para la determinación fue en principio la toma de mediciones de consumo de combustible a diferentes condiciones de operación, a diferentes velocidades de giro del motor, estableció los tiempos de funcionamiento del motor de combustión interna (gasolina) y el motor eléctrico (asíncrono), y con ello determinó el consumo específico de combustible para la ruta propuesta.

El trabajo tuvo como conclusión que los consumos específicos de los vehículos que utilizó para la prueba fueron en promedio de 75.27 kilómetros por galón de gasohol de 90 octanos; en cuánto a los indicadores económicos, determinó que la adquisición de un vehículo híbrido tiene una Tasa Interna de Retorno de 3.37% mensual, y una relación costo beneficio de 1.19, lo cual hace factible que los usuarios adquieran estas unidades vehiculares. Además, hizo la determinación del flujo de energía mecánica y eléctrica en los mecanismos de conversión de energía del vehículo híbrido, midiendo los tiempos de funcionamiento del motor de combustión interna y del motor eléctrico, valores que tienen una relación entre el 68.1 y 92.5%.

**“Análisis eléctrico y mecánico en los modos de operación en el sistema transeje del vehículo híbrido toyota lexus. (2020)”**

Realizo por Farinango Toro, Wilmer Fabian; en el cual mencionó que el mecanismo transeje del sistema híbrido en el vehículo Toyota Lexus RX450h, puede considerarse como el “cerebro del funcionamiento” para el arranque del motor eléctrico, del generador eléctrico y del motor de combustión interna; porque es el acopla y desacopla estos mecanismos de la transmisión mecánica del vehículo. Este mecanismo es controlado por unos elementos de transmisión mecánica denominados engranajes planetarios; el funcionamiento es el intercambio del acople de los ejes del motor y del generador, y su funcionamiento es de acuerdo a la condición de funcionamiento del vehículo. El acople se da en

el momento en el que el vehículo alcance un valor de velocidad; para una velocidad menor a 20 km/h se considera una velocidad baja en el cual solo opera el motor eléctrico, para altas velocidades operan los dos motores, y en el proceso de desaceleración opera solo el motor eléctrico. Este conjunto de engranajes cumple con la función de transmitir movimiento, el cual puede originarse del MG1 (Motor generador 1), MG2 (Motor generador 2) y del MCI (Motor de combustión interna). En el mecanismo transeje del vehículo híbrido Toyota Lexus tenemos dos conjuntos planetarios. El primero de ellos opera con el MG2 manteniendo la base de los satélites fija, forzando a que el movimiento se transmita directamente del solar a la corona y el segundo conjunto de engranajes planetarios trabaja con el MG1 en el que la base de los satélites es móvil conectándose directamente al eje que se acopla al MCI.

## **1.2. Base teórica.**

### **1.2.1 Vehículo híbrido.**

#### **Vehículo híbrido serie.**

El flujo de energía en esta configuración es la siguiente: Las ruedas son accionadas por un motor eléctrico, el cual recibe y convierte la energía eléctrica de corriente alterna en energía mecánica; la energía eléctrica que recibe el motor eléctrico, proviene de un convertidor o inversor, el cual eleva la tensión eléctrica y convierte la corriente continua en corriente alterna. La corriente continua que llega al inversor proviene del generador eléctrico y/o baterías de acumulación; así mismo existe un flujo de energía eléctrica desde el generador eléctrico hacia las baterías. El generador eléctrico, transforma la energía mecánica proveniente de un motor de combustión interna en energía eléctrica. El motor de Combustión Interna, genera energía mecánica mediante un ciclo termodinámico (normalmente ciclo Atkinson), a partir de la energía térmica, producto de la combustión de un combustible. El ingreso de energía lo constituye la energía química contenido en el combustible (Hidrocarburo). (Gallardo, 2019)

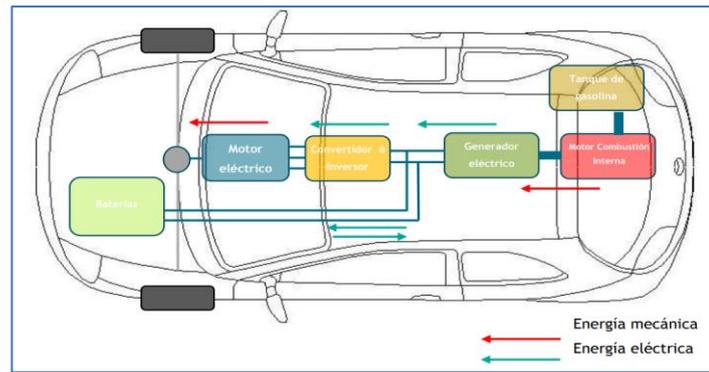


Figura 1. Configuración Vehículo Híbrido Serie

Fuente: Sistemas de transmisión eléctrica. gestión de la energía y estrategias de la transmisión híbrida. (Díaz Hervás, 2017)

### Vehículo Híbrido Paralelo.

El flujo de energía en esta configuración es la siguiente: Las ruedas son accionadas desde un sistema de Transmisión mecánica, la cual recibe energía mecánica del motor de combustión interna y del motor eléctrico. El motor de Combustión Interna, genera energía mecánica mediante un ciclo termodinámico (normalmente ciclo Atkinson), a partir de la energía térmica, producto de la combustión de un combustible. En el caso del motor eléctrico, este genera energía mecánica a partir de la energía eléctrica, la energía eléctrica alterna que recibe el motor eléctrico, proviene de un convertidor o inversor, el cual eleva la tensión eléctrica y convierte la corriente continua en corriente alterna. La corriente continua que llega al inversor proviene de las baterías de acumulación. así mismo existe un flujo de energía eléctrica desde el motor eléctrico hacia las baterías (opera en modo de generador eléctrico). (Gallardo, 2019)

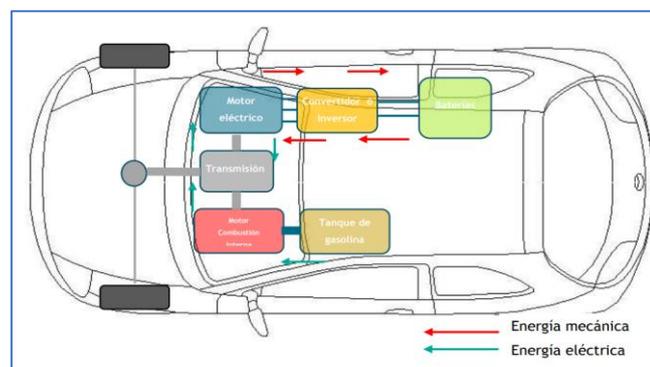


Figura 2. Configuración Vehículo Híbrido Paralelo

Fuente: Sistemas de transmisión eléctrica. gestión de la energía y estrategias de la transmisión híbrida. (Díaz Hervás, 2017)

## Vehículo Híbrido Serie - Paralelo.

El flujo de energía en esta configuración es la siguiente: Las ruedas son accionadas desde un sistema de Transmisión mecánica denominado Mecanismo Divisor de Potencia, la cual recibe energía mecánica del motor de combustión interna y del motor eléctrico. El motor de Combustión Interna, genera energía mecánica mediante un ciclo termodinámico (normalmente ciclo Atkinson), a partir de la energía térmica, producto de la combustión de un combustible. En el caso del motor eléctrico, este genera energía mecánica a partir de la energía eléctrica, la energía eléctrica alterna que recibe el motor eléctrico, proviene de un convertidor o inversor, el cual eleva la tensión eléctrica y convierte la corriente continua en corriente alterna. La corriente continua que llega al inversor proviene de las baterías de acumulación y de un generador eléctrico. así mismo existe un flujo de energía eléctrica desde el motor eléctrico y del generador eléctrico hacia las baterías. (Gallardo, 2019)

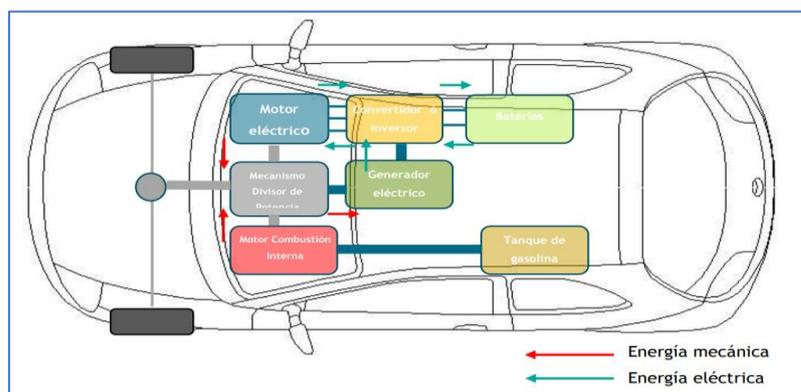


Figura 3. Configuración Vehículo Híbrido Serie - Paralelo

Fuente: Sistemas de transmisión eléctrica. gestión de la energía y estrategias de la transmisión híbrida. (Díaz Hervás, 2017)

### 1.2.2. Generación de energía mecánica en vehículo híbrido.

#### Motor de Combustión Interna con Ciclo Atkinson

El motor de Combustión Interna, transforma la energía térmica, producto de la combustión, en energía mecánica, a través de un mecanismo denominado conjunto móvil (Pistón – Biela – Cigüeñal); este mecanismo está articulado en

diferentes cilindros, a fin de mantener un torque estable en el eje de giro del motor. (The mechanics world, 2013)

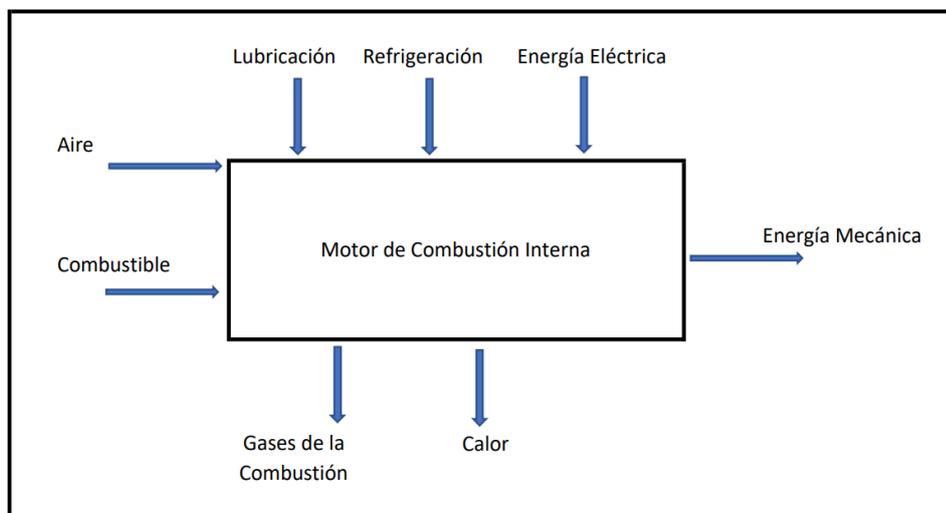


Figura 4 Diagrama de Bloques Motor de Combustión Interna.

Fuente: Sagastume, 2016

El Ciclo Termodinámico Atkinson, es el que sigue los motores de combustión interna de los vehículos híbridos livianos; este ciclo tiene muchas semejanzas con el Ciclo Otto, pero tiene un uso más eficiente de la energía térmica; esto se da debido a que el proceso de compresión, el motor con ciclo Atkinson, lo hace con la válvula de admisión abierta en cierto periodo del proceso de compresión, a diferencia que el ciclo Otto, se hace con la válvula de admisión cerrada. Otra ventaja comparativa del Ciclo Atkinson, es que las presiones de los gases de escape son ligeramente superiores a la de la atmósfera, en comparación con las presiones de los gases en el ciclo Otto, que es mucho mayor a la atmosférica, con ello se logra mayor salto entálpico en el motor, es decir es mayor la eficiencia, debido a que transforman mejor la energía térmica en energía mecánica. (CONUE, 2020)

Los tiempos variables del cerrado de la válvula de admisión, conocido por sus siglas TVCVA), es la configuración que utiliza el Ciclo Atkinson, se tiene con ello relación de compresión más pequeñas, pero hay mayor expansión; con ello el consumo de combustible es entre 1 y 2% menor con respecto al motor con ciclo otto. (CONUE, 2020)

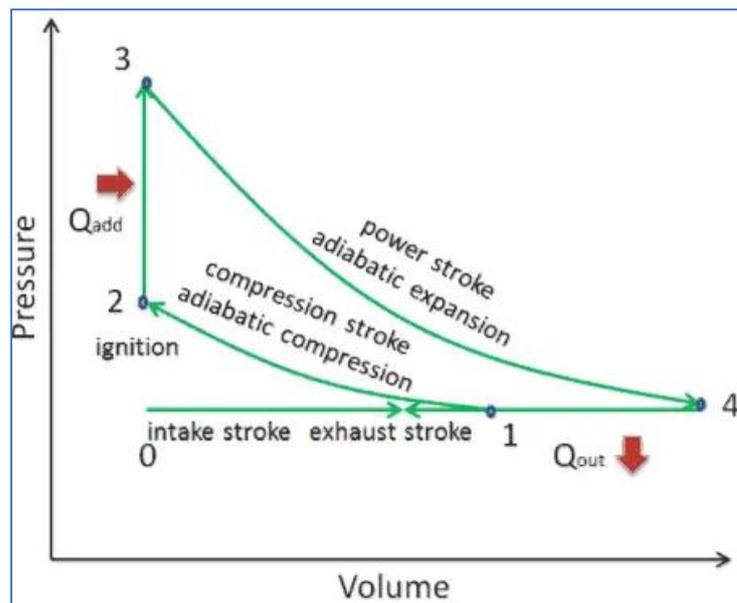


Figura 5 Ciclo Termodinámico Atkinson

Fuente: Nick Connor, 2020

En la figura 5, se puede observar los procesos termodinámicos del Ciclo Atkinson, en el cual la relación de compresión adiabática tiene un valor que es menor al que utiliza el ciclo otto (Relación de compresión comprendida entre 8 y 12), la Relación de compresión del Ciclo Atkinson es entre 6 y 8; así mismo se puede apreciar, que el proceso de escape, se realiza desde el estado termodinámico 4, que es ligeramente superior al estado termodinámico 3, es decir se logra con ello mayor diferencia entre la entalpía 3 y 4, que es el proceso de expansión, en el cual se genera un presión media efectiva, la cual con los mecanismos del conjunto móvil del motor, se convierte en torque mecánico en el eje cigüeñal.

Los parámetros de funcionamiento del motor de combustión interna, son la Presión Media Efectiva, la velocidad angular de giro, el torque instantáneo, la cilindrada, el grado de admisión de aire y la Potencia Mecánica. (Rafael, 2014).

La Presión Media Efectiva, es el valor promedio de las presiones que se produjeron en el interior del cilindro, específicamente en el cámara de

combustión, y si su valor se incrementa de manera proporcional a la potencia mecánica del motor; para un motor de 4 tiempos, se tiene: (Sagastume, 2016)

$$\frac{\delta P_{me}}{\delta t} = \frac{4\pi \times \frac{\delta T_m}{\delta t}}{V_c}$$

Dónde:

$\frac{\delta P_{me}}{\delta t}$ : Variación de la Presión Media Efectiva.

$\frac{\delta T_m}{\delta t}$ : Variación del Torque Mecánico.

$V_c$ : Volumen del Cilindro

La velocidad angular  $\omega$  de giro del eje cigüeñal (rad/s), se expresa en términos de vueltas por minuto, es decir:

$$\omega = \frac{2\pi RPM}{60}$$

La variación de la Potencia mecánica que se genera en el eje cigüeñal del motor, se expresa en función a la variación del torque y de la velocidad de giro del motor; y se expresa:

$$\frac{\partial P_m}{\partial t} = \frac{2\pi RPM}{60} \times \left( \frac{\partial T_m}{\partial t} \right)$$

Dónde:

$\frac{\partial P_m}{\partial t}$ : Variación de Potencia Mecánica.

$RPM$ : Número de revoluciones por minuto.

$\frac{\delta T_m}{\delta t}$ : Variación del Torque Mecánico.

Es decir que el valor de la Potencia Mecánica es proporcional al valor del torque mecánico, sin embargo, tiene a la velocidad de giro como variable que influye en dicho valor. La potencia mecánica máxima se da a un régimen de revoluciones mayor a la cual se origina el Torque máximo; y el menor consumo específico de combustible se da a una velocidad de giro comprendido entre la velocidad de giro para torque y potencia máxima; en la Figura 6 se muestra las curvas

características que presentan los motores de combustión interna, tanto en la Potencia Mecánica, Torque y consumo específico de combustible.

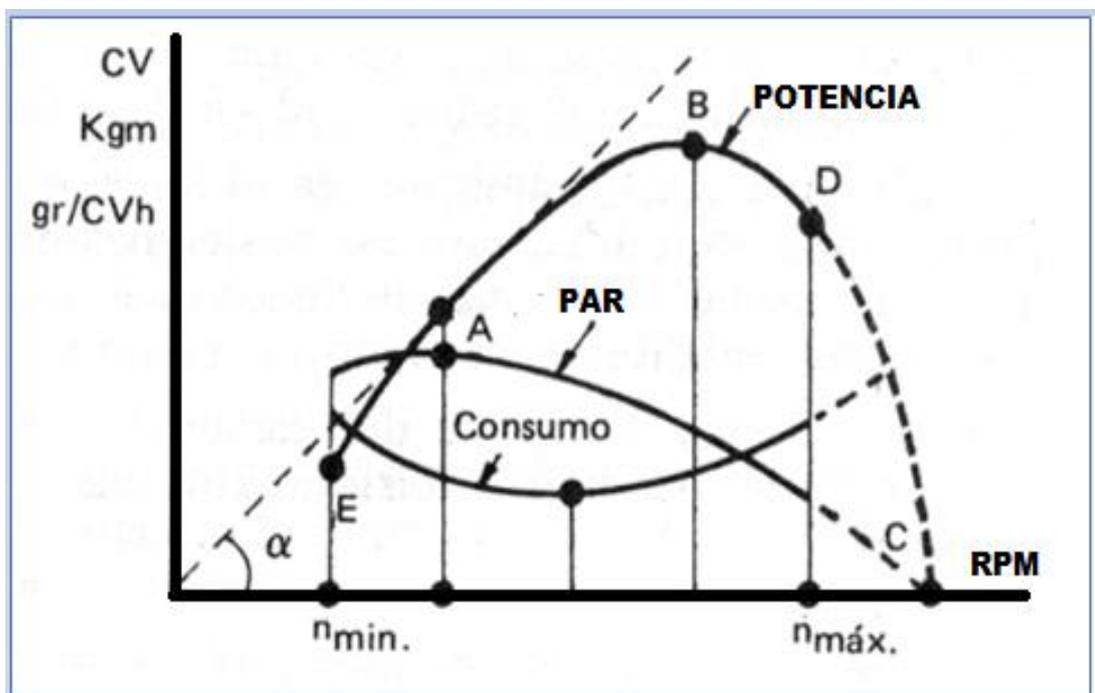


Figura 6 Curvas características de Motor de Combustión Interna

Fuente: Caracterización de las curvas de presión, par y potencia de un motor de combustión interna, 2018.

La dinámica que describe el movimiento del pistón en su trayecto ascendente a fin de obtener el valor de compresión adecuado para que se realice la combustión, pasa por ciertos puntos característicos; el punto de encendido se da antes de que el pistón llegue al PMS (Punto Muerto Superior), la cual es medida en grados de giro del cigüeñal; el valor de mayor presión no se da en el PMS, sino a unos grados más adelante, es decir cuando el pistón empieza su descenso al PMI; en la figura 7, se describe los estados termodinámicos que ocurren en el proceso de compresión y de expansión del ciclo del motor de combustión interna que utilizan los vehículos híbridos. (González Calleja, 2016).

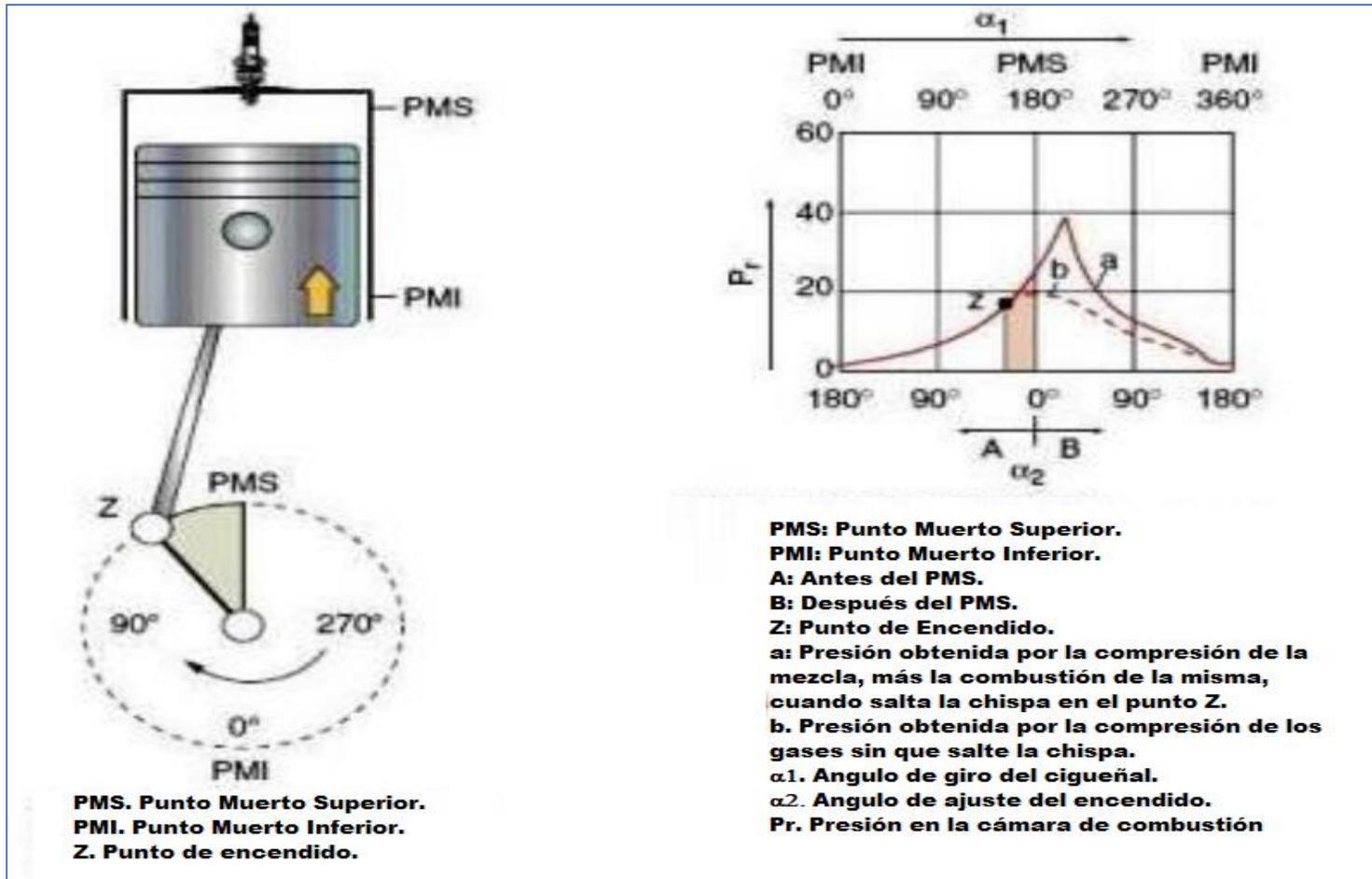


Figura 7 Angulo de Avance de un Motor de Combustión Interna.

Fuente: Caracterización de las curvas de presión, par y potencia de un motor de combustión interna, 2018.

### 1.2.3. Motor Eléctrico.

El motor eléctrico de un vehículo híbrido, es una máquina eléctrica rotativa, sincrónico de imán permanente, trifásica de corriente alterna, es el encargado de transformar la energía eléctrica en energía mecánica.

El principio de funcionamiento del motor eléctrico, es cuando la corriente trifásica circula por las bobinas (devanados) del estator, se genera un campo magnético giratorio. (Trashorras, 2019)

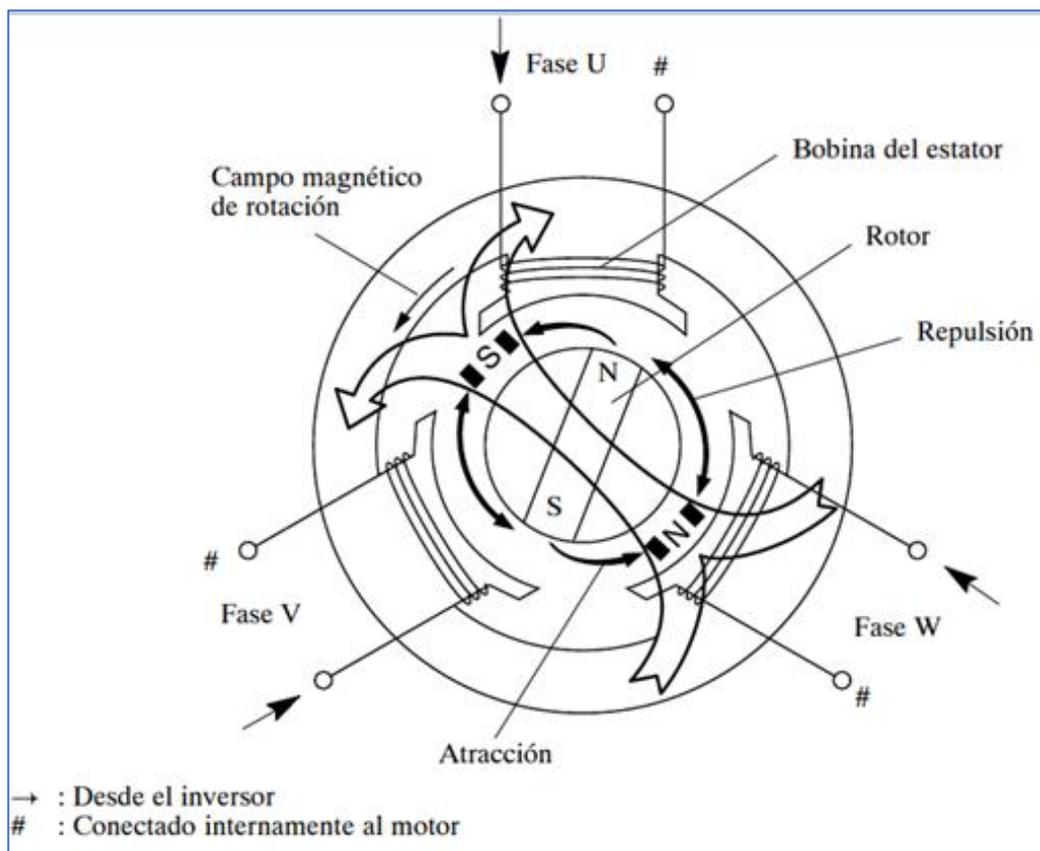


Figura 8 Motor eléctrico sincrónico de imán permanente

Fuente: Toyota Hybrid System II, 2018

El control de este campo magnético es de acuerdo a la velocidad y la posición de giro del rotor; existe la atracción de los imanes permanentes por el campo magnético rotativo, así se genera el torque o par. Este par de fuerzas que se genera en el rotor, es un vector que tiene un módulo que es proporcional a la intensidad de corriente, y la velocidad de giro se controla mediante el valor de la frecuencia de la señal eléctrica.

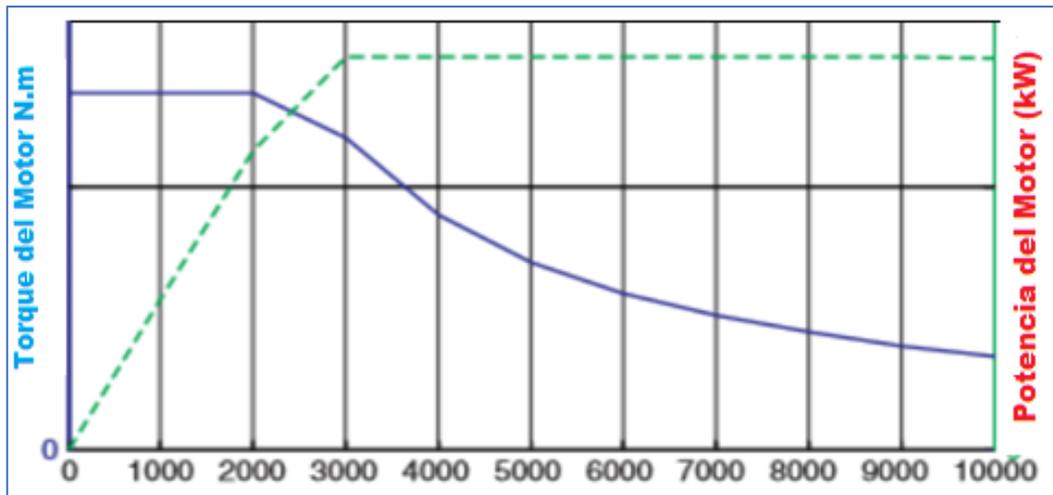


Figura 9 Curva característica Torque y Potencia de Motor eléctrico Síncrono

Fuente: Análisis y Optimización de un Freno Regenerativo para un Vehículo Híbrido, 2017.

Las ecuaciones que rigen el funcionamiento del motor eléctrico síncrono de imanes permanentes, en el cual las leyes de los fenómenos electromagnéticos limitan el rango de cada parámetro y sus variaciones en el tiempo, permiten el dimensionamiento, geometría y material constitutivo de estas máquinas. (Acosta, 2017).

### Fuerza electromotriz inducida

$$e_b = -\frac{d\lambda}{dt} = -N \frac{d\Phi}{dt} = -N \frac{d\theta_m}{dt} \frac{d\Phi}{d\theta_m} = -N\omega_m \frac{d\Phi}{d\theta_m}$$

Dónde:

- $e_b$ : Fuerza electromotriz inducida
- $\lambda$ : Flujo Enlazado.
- $N$ : Número de vueltas por espira
- $\phi$ ; Flujo magnético.
- $\omega_m$ : Velocidad Angular

### Par de Fuerza en el Rotor:

$$dF = dq * \frac{d\vec{l}}{dt} \wedge \vec{B} \rightarrow F = \int dF = \int i d\vec{l} \wedge \vec{B} = i \vec{l} \wedge \vec{B}$$

$$T = F * R_{ro} = R_{ro} i \vec{l} \wedge \vec{B}$$

Dónde:

- F: Fuerza generada.
- l: Longitud del conductor.
- B: Inducción Magnética.
- T: Par Motor.
- Rro: Radio del rotor.

### **Velocidad de Sincronismo**

$$n(rpm) = \frac{60 \cdot f}{p}$$

Dónde:

- n: Velocidad de giro en Revoluciones por minuto
- f: Frecuencia Eléctrica.
- p. Número de par de polos.

En la figura 10, se muestra la conexión del circuito de fuerza y de control de los motores eléctricos MG1 y MG2 de un vehículo híbrido; la Unidad de Control electrónica denominada ECU de HV, envía y recibe información hacia el módulo del conjunto del inversor y el convertidor elevador de tensión. La función es activar los motores eléctricos, de acuerdo a la información que tiene la ECU, para lo cual tiene instalado sensores de corriente en las líneas de suministro de energía de los motores eléctricos. (Toyota Hybrid System II, 2018).

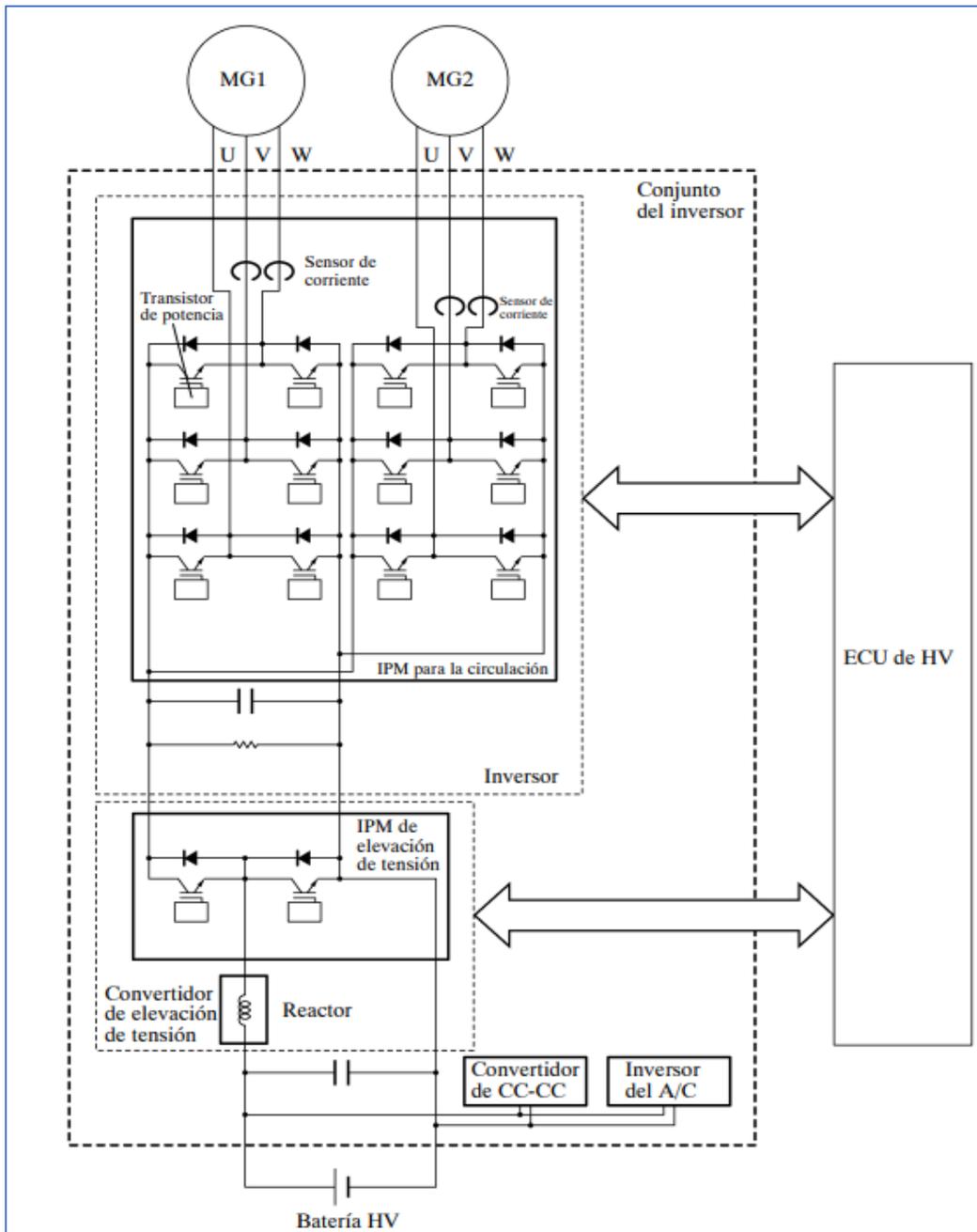


Figura 10 Conexiones de Motor y Generador eléctrico a Inversor

Fuente: Toyota Hybrid System II, 2018

#### 1.2.4. Almacenamiento de energía electroquímica

##### Baterías de Acumulación de Energía.

La energía eléctrica tiene muchas ventajas en cuanto a su generación, transporte, control, manipulación, distribución, interrupción, amplificación, entre otros; sin embargo, su almacenamiento no es posible; la energía que se genera,

en ese instante se utiliza. El almacenamiento de energía en las baterías se hace en forma de energía química. (Dávila, 2020).

Las baterías constituyen uno de los elementos importantes dentro del flujo de energía para el accionamiento de un vehículo híbrido; es aquí donde parte de la energía mecánica que genera el motor de combustión interna de un vehículo híbrido, se transforma en energía química, para su posterior uso como energía mecánica, que finalmente permitirá el accionamiento del vehículo. La cantidad de carga que la batería almacene es un gran reto de las tecnologías actuales, y que los fabricantes de vehículos siguen innovando, así como también en las prestaciones de éstos y en su dimensionamiento. El Objetivo final de una batería en el funcionamiento de un vehículo híbrido es tener el rendimiento, en cuanto a la autonomía, potencia y energía que esta puede adquirir y suministrar, de acuerdo a las condiciones de funcionamiento del vehículo híbrido. (Vehículos híbridos. Pasado, presente y futuro, 2020).

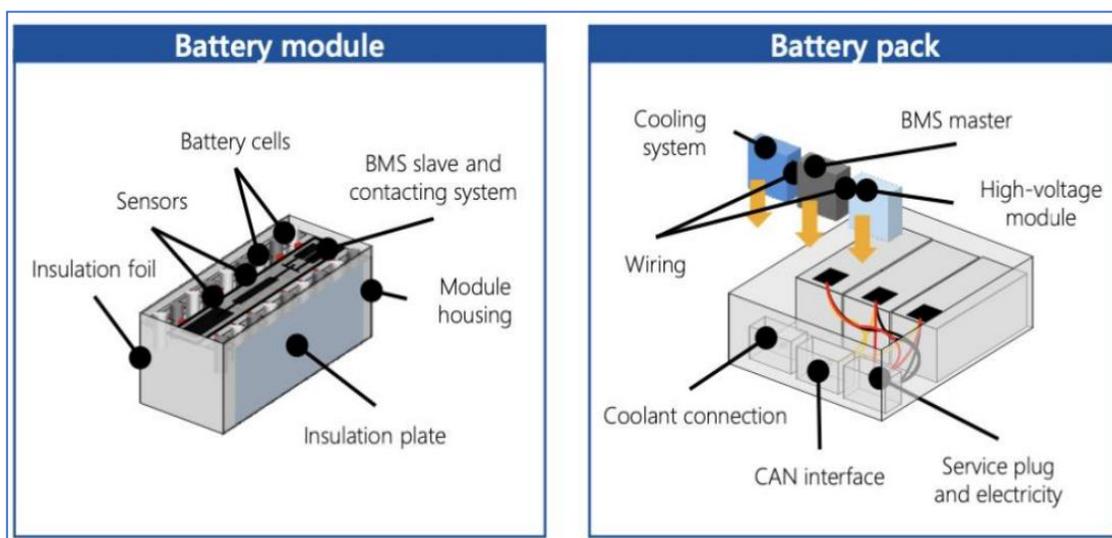


Figura 11 Módulo y Pack de Baterías Automotrices

Fuente: PEM study by RWTH, 2018

Las baterías que se utilizan para el almacenamiento de energía química son las de Plomo ácido, que tienen baja densidad energética, son las que actualmente predominan el mercado automotriz; las baterías Níquel – Cadmio, su principal característica es la durabilidad, pero en el sector automotriz presentan un alto costo; las baterías Níquel -MH, son las que más se utilizan en vehículos híbridos,

tienen un valor aceptable de densidad energética, alta frecuencia de carga y descarga, así mismo es reciclable, y finalmente se tiene a las baterías de lón-Litio, que son las que han innovado en el sistema eléctrico y tienen actualmente mayor aceptación, a pesar de su alto precio, tienen una alta densidad energética, mayores ciclos de vida, peso ligero. (Sánchez, 2020).

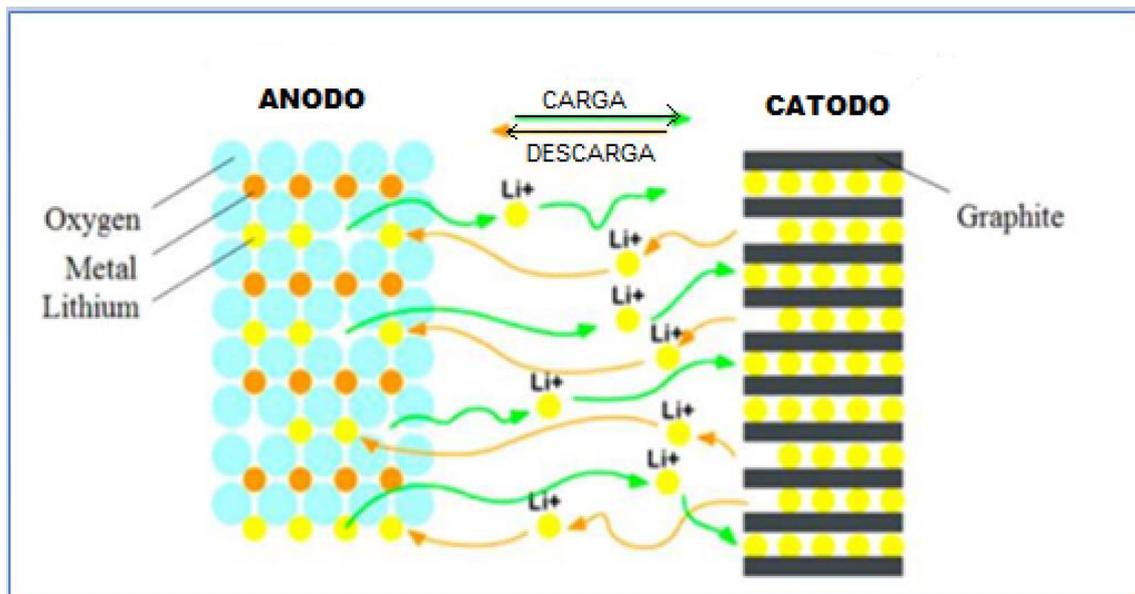
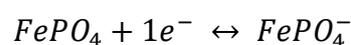
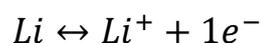


Figura 12 Procesos Químicos: carga/descarga de batería ion-litio

Fuente: Modelado de sistemas de gestión térmica en baterías para vehículos híbridos mediante el uso de nanofluidos, 2020

Las baterías de celda de lón – Litio, utilizan al carbono en forma de grafito, como electrodo negativo. El cátodo está fabricado de  $\text{LiCoO}_2$  (óxido de litio-cobalto),  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  (también conocido como espinela) o  $\text{LiFePO}_4$  (fosfato de hierro y litio). El electrolito de la batería, es una solución de sal de litio en un disolvente orgánico, como es el carbonato de etileno ( $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$ ); durante el proceso de descarga, los iones de litio hacen su desplazamiento desde el ánodo hacia el cátodo, y en proceso de carga, lo hacen de forma inversa. (Sánchez, 2020).



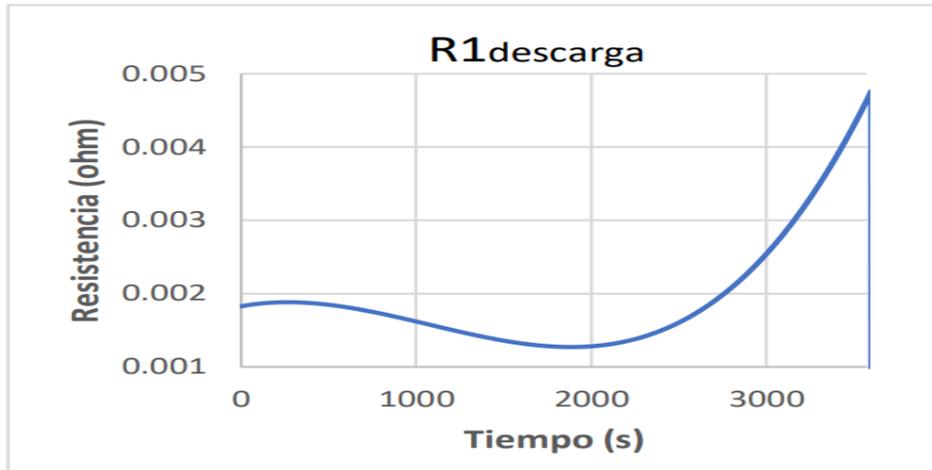


Figura 13 Resistencia en la batería durante el proceso de descarga

Fuente: (Sanchez, 2020).

**1.2.5. Regresión lineal, no lineal y multivariable.**

**Regresión Lineal Simple**

Es un modelo numérico en el cual se genera una función matemática que explica la relación que existe entre una variable de respuesta (Variable Y), y una variable explicativa (Variable X). (Coral, 2019)

Tabla 1. Métodos para linealizar ecuaciones

Tipo de ecuación	Eje y	Eje x	Pendiente	Ordenada en el origen
$y = ax + b$	y	x	a	b
$y = ae^{bx}$	ln(y)	x	b	ln(a)
$y = \frac{x}{ax + b}$	x/y	x	a	b
$y = \frac{a}{b} + x$	y	1/x	a	b
$y = ax^b + c$	ln(y-c)	lnx	b	ln a

Fuente: Coral, 2019

Para un conjunto de datos (x,y)

$$(x_1; y_1), (x_2; y_2), (x_3; y_3), \dots \dots \dots (x_n; y_n) \quad y_i^t = a_0 + a_1x_i$$

La suma de los cuadrados de los errores de los datos y de la aproximación lineal, se expresa mediante:

$$s = \sum_{i=1}^n [(y_i^t - y_i)^2] = \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1 x_i - y_i)^2$$

Para encontrar los valores de los coeficientes  $a_0$  y  $a_1$ , se tiene:

$$a_1 = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i - \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$a_0 = \frac{\sum y_i}{n} - \frac{a_1 \sum x_i}{n}$$

Dónde n, representa el número de datos.

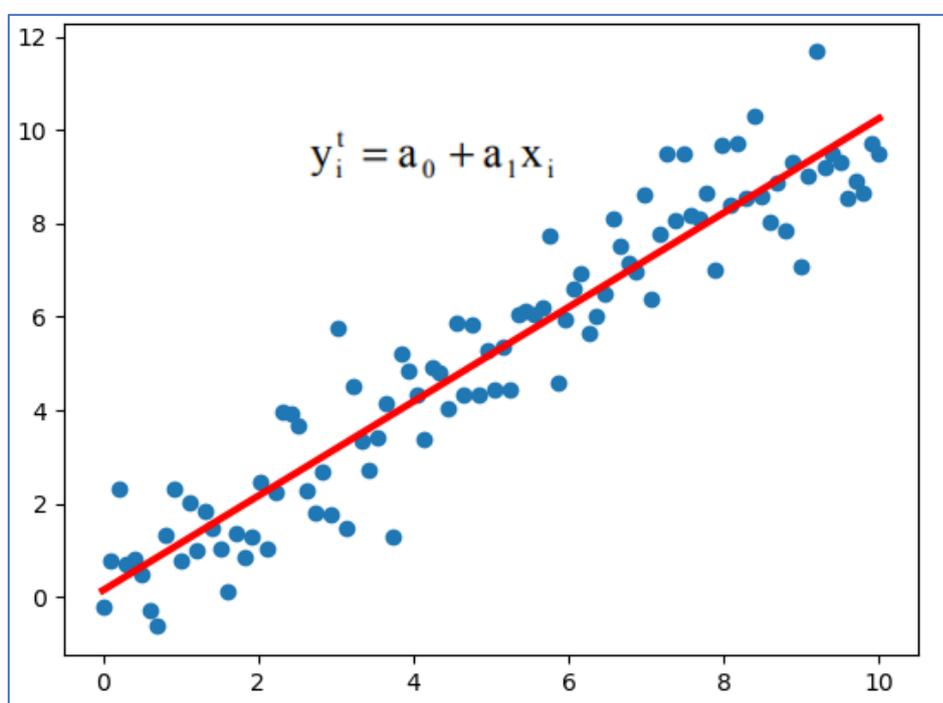


Figura 14 . Regresión Lineal Simple

Fuente: Coral, 2019

### Regresión Lineal Múltiple

Mediante este procedimiento, se genera un modelo lineal, en el cual existe una variable dependiente (Y), y un conjunto de variables independientes ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ); con ello, se busca establecer la influencia de varias variables independientes en la variación de la variable dependiente. (Coral, 2019)

El modelo de regresión lineal múltiple se expresa:

$$Y_i = (\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots \dots \dots \beta_n x_{ni} + e_i$$

Dónde:

$\beta_0$ : Es la ordenada en el punto de origen del plano cartesiano; es el valor de la variable dependiente y, cuando todos los predictores son cero.

$\beta_i$ : Es el valor del promedio que tiene el incremento de una unidad de la primera variable predictora  $x_i$ , sobre la variable y, manteniendo constante el resto de variables. También se les denomina coeficientes parciales de regresión múltiple.

$e_i$ : Es el valor de residuo o de error; es la diferencia entre el valor dado en el experimento y el estimado por el modelo.

Un aspecto importante en los modelos de regresión múltiple, es que los predictores (variables independientes), no deben tener entre ellas colinealidad, es decir que no debe existir entre las variables independientes relaciones de linealidad; de haber colinealidad no se puede identificar de forma precisa el efecto individual que tiene cada variable con respecto a la variable dependiente

Para el caso de la resolución de un modelo de regresión lineal con 2 variables independientes ( $x_1, x_2$ ), la ecuación lineal es de la forma siguiente:

$$y^t(x_1, x_2) = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2$$

La determinación de los valores, se realiza con la solución del siguiente sistema de ecuaciones lineales:

$$\begin{aligned} na_0 + a_1 \sum x_{1,i} + a_2 \sum x_{2,i} &= \sum y_i \\ a_0 \sum x_{1,i} + a_1 \sum x_{1,i}^2 + a_2 \sum x_{1,i} \cdot x_{2,i} &= \sum x_{1,i} \cdot y_i \\ a_0 \sum x_{2,i} + a_1 \sum x_{1,i} \cdot x_{2,i} + a_2 \sum x_{2,i}^2 &= \sum x_{2,i} \cdot y_i \end{aligned}$$

La solución del sistema de ecuaciones, se resuelve de manera matricial, en el cual  $C$  es la matriz de coeficientes,  $a$  es el vector de las constantes de ajuste y  $b$  es el vector de los términos independientes.  $C \cdot a = b$ .

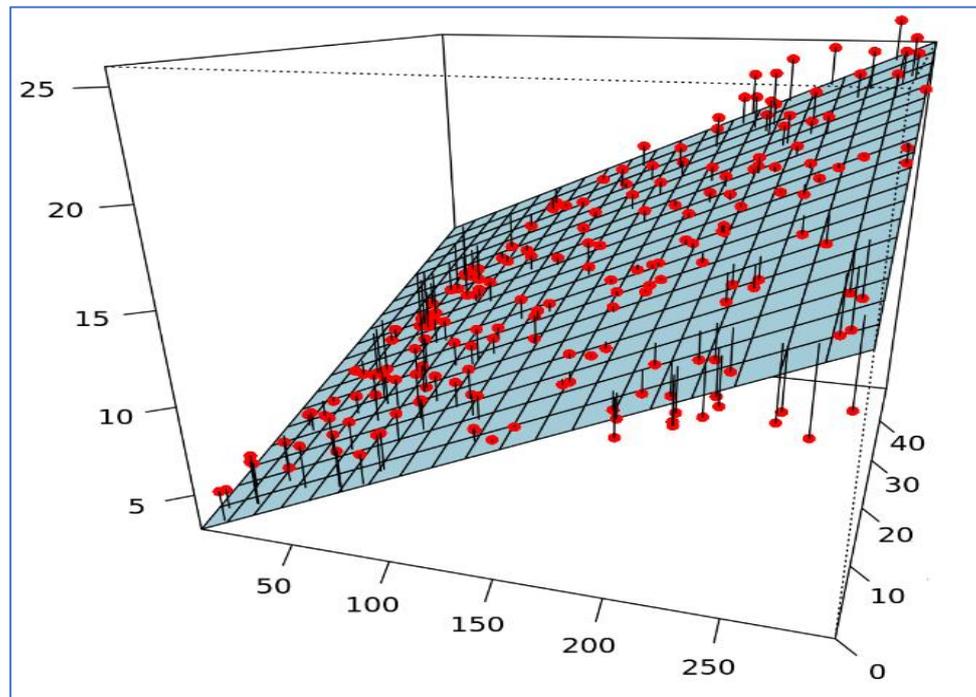


Figura 15. Gráfica de regresión lineal múltiple

Fuente. Coral, 2019

### Regresión No Lineal

Es un método que permite encontrar un modelo de regresión no lineal, entre la variable dependiente y un conjunto de variables independientes. Para la generación de este modelo, se utiliza los parámetros, que son estimados por el procedimiento de cálculo del modelo de regresión no lineal: éstos pueden ser constantes aditivas, coeficientes multiplicativos **y/o** exponentes. Las aproximaciones de los modelos no lineales pueden ser lineales, cuadrática, exponencial, logarítmica e Inversa. (Pico, 2019)

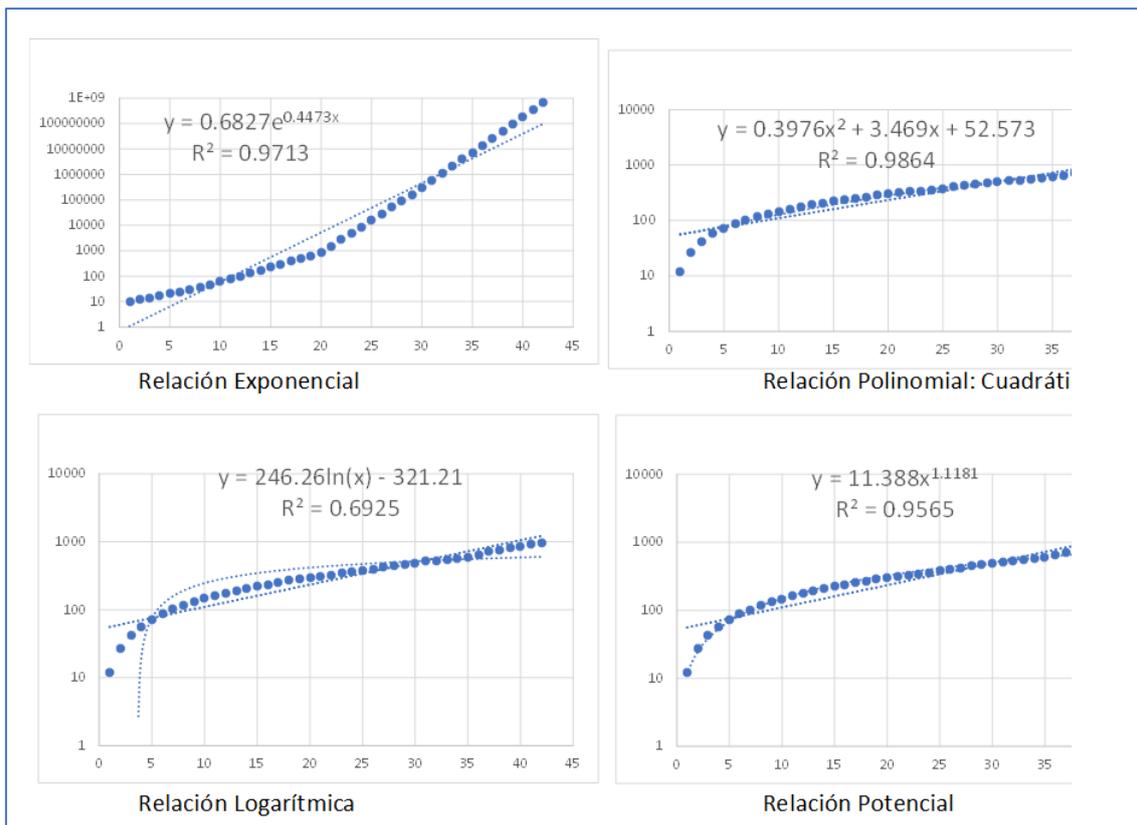


Figura 16. Regresión No Lineal

Fuente: Pico, 2019

Para el caso de la relación no lineal, entre una variable dependiente y una variable independiente, en el cual la variación de la variable dependiente está en función a una variación cuadrática de la variable independiente, el modelo se expresa:

$$y = a + bx + cx^2$$

Los valores de los coeficientes  $a$ ,  $b$  y  $c$  se obtienen resolviendo, el sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n y_i &= na + b \sum_{i=1}^n x_i + c \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i &= a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i^3 \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i &= a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + c \sum_{i=1}^n x_i^4 \end{aligned}$$

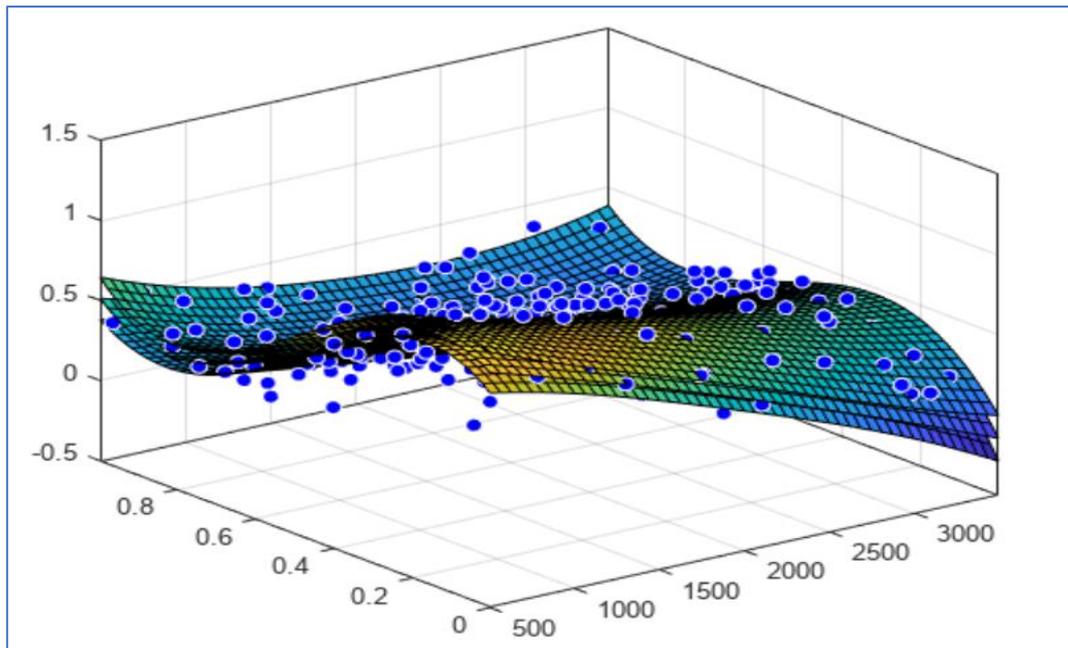


Figura 17. Gráfica Regresión No lineal Múltiple

Fuente: Pico, 2019

### 1.3. Definiciones Conceptuales.

#### 1.3.1. Vehículo Híbrido Liviano.

Es un vehículo automotor, que utiliza para el accionamiento de las ruedas, dos motores, un motor de combustión interna y un motor eléctrico; la energía que ingresa el motor de combustión interna con ciclo termodinámico Atkinson es la energía química que tiene el Gasohol, y la energía eléctrica que ingresa al motor eléctrico, es parte de la energía mecánica transformada en el generador eléctrico, el cual es accionado por el mismo motor de combustión interna. La designación de vehículo híbrido liviano, se enmarca en lo establecido en Reglamento Nacional de Vehículos, que literalmente menciona: “*Vehículo automotor que, de acuerdo a la clasificación vehicular establecida por el Reglamento Nacional de Vehículos, pertenece a cualquiera de las siguientes categorías M1, M2, N1, O1 y O2, y que su peso bruto es de 3,5 Toneladas*” (D.S. 058 -2003- MTC).

#### 1.3.2. Grado de Hibridación.

Es la relación que existe entre los tiempos promedios de funcionamiento del motor eléctrico y el tiempo de funcionamiento a diferentes velocidades del vehículo híbrido. Cuando se da el funcionamiento del vehículo con el motor eléctrico, no

hay consumo de combustible; a mayor grado de hibridación, el consumo de combustible es menor, teniendo como límite 1, es decir todo el trayecto el vehículo funcionó con solo el motor eléctrico. (Alvarez, 2020)

### 1.3.3. Condiciones de Funcionamiento de Vehículo Híbrido.

Son las condiciones de funcionamiento en el cual operan los motores de combustión interna y eléctrico; se muestra a detalle la descripción de cada condición de funcionamiento del vehículo híbrido

**Tabla 2. Condiciones de Funcionamiento**

Condición de Funcionamiento	Descripción de la condición de funcionamiento
Arranque y baja	Hibrido 100%. El motor MG2, en solitario, más eficiente que el de combustión, mueve las ruedas alimentado por la batería.
Arranque del motor de combustión	El motor MG1, alimentado por la batería, impulsa el motor de combustión para su arranque y MG2 permanece clavado
Conducción de cruceo	Las ruedas son accionadas por el motor térmico y MG2 simultáneamente, que se alimenta de MG1
Carga por batería baja	El motor térmico genera un exceso de energía cargando la batería mediante MG1.. MG2 colabora con el motor térmico en la impulsión del vehículo
Aceleración o subida de pendientes	El motor térmico y MG2 impulsan el vehículo. MG1 actúa como generador alimentando a MG2. MG2 es alimentado por la batería y MG1 simultáneamente.
Parada	El motor de combustión se pone en marcha solo si es necesario para aumentar su temperatura y/o cargar la batería
Deceleración o frenado regenerativo	MG2 actúa como generador cargando la batería con la energía del frenado, que se desperdiciaría en un vehículo clásico.
Marcha atrás	El motor MG2 actúa impulsando el vehículo si el SOC y la temperatura de motor son las adecuadas

Fuente: Sistema Híbrido auto-recargable,

### 1.3.4. Torque Mecánico de Motor de Combustión Interna.

En un motor de combustión interna, este parámetro es variable, debido a que solo se produce en el proceso termodinámico de la expansión del motor, y es negativo en los demás procesos; sin embargo, el motor al tener más de 1 cilindro, los valores de torque tienden a incrementar a medida que se incrementa la

presión media efectiva, producto de la combustión en el interior del cilindro; el torque tiende a ser más estable a medida que el motor tenga más número de cilindros; las unidades de torque en el SI, es el N.m, también se utiliza el kN.m. (Sagastume, 2016)

### **1.3.5. Torque Mecánico de Motor Eléctrico.**

Es producto del par de fuerzas por el radio del eje del motor; ésta fuerza es originada por las interacciones electromagnéticas que ocurren entre el estator y rotor. A diferencia del torque del motor de combustión interna, este torque es más estable, y tiene un incremento notorio solo al arranque del motor, debido a que se requiere vencer la inercia del reposo; sin embargo, al alcanzar velocidades nominales, su valor estará en función tanto a la demanda de energía mecánica de las ruedas como también a la oferta de energía, es decir de la intensidad de ingreso de corriente eléctrica. Para el caso de los motores eléctrico síncronos, el valor del torque es alto y se da a bajas velocidades. (Trashorras, 2019)

### **1.3.6. Intensidad de Corriente eléctrica.**

Es la carga o corriente eléctrica que circula en un determinado lugar por unidad de tiempo; en el vehículo híbrido, el valor de intensidad de corriente eléctrica, expresados en Amperios (A), determina la capacidad para que el accionamiento sea por conducción en modo eléctrico y no térmico. La generación de la intensidad de corriente eléctrica en el generador eléctrico es de tipo alterna sinusoidal, sin embargo, para la carga y descarga de batería se requiere intensidad de corriente continua; las transformaciones de la corriente eléctrica, no solo de da por tipo, sino también por la transformación en un nivel de tensión eléctrica. La manipulación, control, interrupción, transporte, amplificación, etc., son las principales ventajas que tiene este parámetro frente a los parámetros de la energía mecánica. (Paguay, 2021)

#### 1.4. Operacionalización de Variables

Variables	Definición de la Variable	Dimensión	Indicadores	Instrumento
Variable Dependiente: Flujos Óptimos de Energía en un Vehículo Automotriz Liviano Híbrido	Cantidad de energía que ingresa y sale de los mecanismos que transforman energía, para lo cual el motor de combustión interna tiene menor consumo de combustible, para diferentes condiciones de funcionamiento.	Energía Mecánica Energía Eléctrica.	Torque Velocidad Intensidad de Corriente eléctrica Diferencia de Potencial.	Mediciones de parámetros de funcionamiento de motor de combustión interna y motor eléctrico,
Variable Independiente: Modelación Energética	Es la representación de las relaciones numéricas de los parámetros de funcionamiento de los mecanismos que transforman la energía, con la finalidad de accionar a un vehículo.	Variaciones Lineales Variaciones No Lineales	Regresión Lineal Regresión No Lineal Regresión Multivariable	Modelamiento computacional con software libre

## **1.5. Hipótesis.**

### **Hipótesis General.**

La modelación energética determina los flujos óptimos de energía en un vehículo Automotriz Liviano Híbrido.

### **Hipótesis Específica.**

Las relaciones de la variación de la Velocidad del vehículo híbrido con los parámetros de los motores de combustión interna y motores eléctricos son lineales y no lineales.

## **CAPITULO II: MÉTODOS Y MATERIALES**

### **2.1. Tipo de Investigación.**

El presente trabajo de investigación será de tipo exploratorio porque el tema de estudio de los flujos óptimos de energía en un vehículo híbrido liviano es nuevo, debido a que dichas unidades vehiculares están ingresando aún de manera muy lenta al parque automotor del Perú. A su vez es descriptiva, porque describe y analiza el comportamiento de las variables al tener la combinación de los motores de combustión interna y motor eléctrico en el vehículo híbrido.

### **2.2. Método de Investigación**

El método del presente trabajo de investigación es cuantitativo, ya que se realiza una correlación de datos entre la variación de la velocidad del vehículo híbrido y la variación de los parámetros de funcionamiento de los 2 motores (Motor de combustión interna y motor eléctrico).

### **2.3. Diseño de Contrastación.**

El diseño de la contrastación de la hipótesis será una contrastación experimental, para validar las hipótesis planteadas se requiere el procesamiento de las mediciones de los parámetros de funcionamiento del motor de combustión interna y el motor eléctrico de los vehículos de prueba, a diferentes condiciones de funcionamiento, y consecuentemente a ello los resultados de las relaciones que optimicen los flujos de energía.

### **2.4. Población, Muestra y Muestreo.**

La población está constituida por los vehículos híbridos livianos, de cilindrada 2,5 Litros (2500 cm<sup>3</sup>). Según la SUNARP (Superintendencia Nacional de los Registros Públicos), el total de vehículos híbridos nuevos que ingresaron al Perú en el periodo Enero -. Febrero 2023 fue de 564 unidades, de las cuales 42 unidades corresponden a vehículos híbridos con cilindrada 2500 cm<sup>3</sup>, que es la población para la presente investigación.

El cálculo de la muestra para poblaciones finitas, se determinó a partir de la expresión:

$$n = \frac{N \cdot Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}{d^2 \cdot (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}$$

Dónde:

- n: Tamaño de la muestra.
- $Z_{\alpha}$  : Nivel de Confianza = 1.96 si la seguridad es del 95%
- N: Total de la Población = 42
- p: Proporción esperada 5%
- q 1-p
- d: Precisión 5%

Reemplazando valores  $n = 3.43$ , por lo tanto, el tamaño de la muestra es un número entero, por la característica de la población, es decir 3 unidades.

El muestreo fue probabilístico, aleatorio.

## 2.5. Técnicas, Instrumentos, Equipos y Materiales de Recolección de Datos.

### Técnicas.

**Observación:** consistió básicamente en observar la variación de los parámetros de funcionamiento del motor de combustión interna y motor eléctrico

### Instrumentos.

En la tabla 3, se enumeran en los anexos, la ficha de recolección de datos y el objetivo que se persigue en el registro de los valores de medición de los datos de vuelo de los vehículos híbridos de prueba.

Tabla 3. Instrumentos de Recolección de datos

1/2

Anexo	Ficha de recolección de datos	Objetivo
Anexo1	Medición de consumo de combustible y velocidad del vehículo a condiciones de funcionamiento: velocidad de crucero y aceleración y pendiente	Para las 2 condiciones de funcionamiento de los 3 vehículos híbridos de prueba, registre el valor del consumo de combustible (Q) en ml/km a cada valor de velocidad del vehículo (v) en km/h
Anexo 2	Medición de velocidad del vehículo, torque motor eléctrico e intensidad de corriente eléctrica a condiciones de funcionamiento: arranque y baja velocidad	Para las 2 condiciones de funcionamiento de los 3 vehículos híbridos de prueba, registre el valor del torque del motor eléctrico (TE) en N.m, y de intensidad de corriente eléctrica que ingresa al motor eléctrico (IEi) en Amperios, a cada valor de velocidad del vehículo (v) en km/h
Anexo 3	Medición de velocidad del vehículo, torque de motor de combustión interna, torque motor eléctrico e intensidad de corriente eléctrica a condiciones de funcionamiento: velocidad de crucero	Para la condición de funcionamiento de los 3 vehículos híbridos de prueba, registre el valor del torque del motor eléctrico Tm en N.m, torque del motor eléctrico (TE) en N.m, y de intensidad de corriente eléctrica que ingresa al motor eléctrico (IEi) en Amperios, a cada valor de velocidad del vehículo (v) en km/h
Anexo 4	Medición de velocidad del vehículo, torque de motor de combustión interna, torque motor eléctrico e intensidad de corriente eléctrica a condiciones de funcionamiento: aceleración y pendiente	Para la condición de funcionamiento de los 3 vehículos híbridos de prueba, registre el valor del torque del motor eléctrico Tm en N.m, torque del motor eléctrico (te) en N.m, y de intensidad de corriente eléctrica que ingresa al motor eléctrico (IME) en Amperios, a cada valor de velocidad del vehículo (v) en km/h
Anexo 5	Medición de velocidad del vehículo, intensidad de corriente que genera MG2 (Ig) a condiciones de funcionamiento: deceleración o frenado regenerativo	Para la condición de funcionamiento de los 3 vehículos híbridos de prueba, registre el valor de la intensidad de corriente que genera MG2 (Ig) en Amperios a cada valor de velocidad del vehículo (v) en km/h

Fuente: Elaboración Propia

### **Equipos y Materiales de Recolección de Datos**

Para la medición de los parámetros de funcionamiento del motor de combustión interna y motor eléctrico, a diferentes condiciones de funcionamiento, se utilizó el Scanner multimarca LAUNCH X-431 PRO 3 que es un scanner multimarca de diagnóstico profesional basado en el sistema operativo Android, está desarrollado bajo tecnología DBS (Diagnosis Based Solution) y su conectividad con el vehículo se realiza vía bluetooth. Tiene el nuevo conector DBSCar V permite diagnosticar las nuevas redes CAN.

### **2.6. Procesamiento y Análisis de Datos.**

Para el procesamiento y el análisis de los datos se utilizó el software de matemática computacional, en el Anexo 7 se describe el lenguaje de programación, la cual utilizó los datos ordenados en las hojas de cálculo; los resultados muestran las líneas de tendencia de forma gráfica y la relación numérica en el cual tiene el mayor coeficiente de determinación y coeficiente de correlación múltiple.

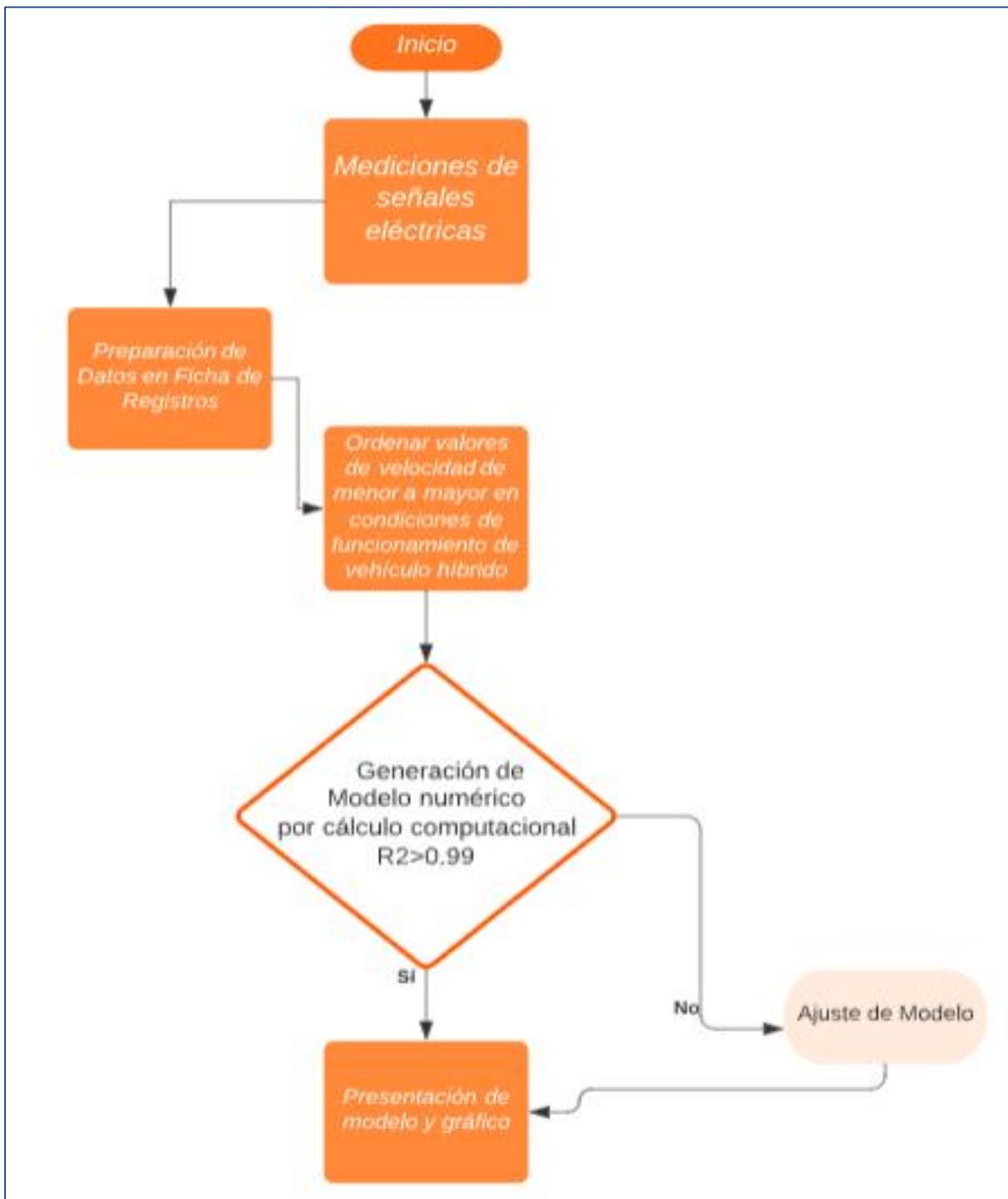


Figura 18. Lógica de Procesamiento de datos

Fuente: Elaboración Propia

## **CAPITULO III: RESULTADOS.**

### **4.1. Registro de las mediciones de los parámetros de funcionamiento del vehículo.**

#### **4.1.1. Identificar Parámetros en dispositivos de conversión energética.**

En un vehículo automotriz híbrido, la energía mecánica que se requiere para accionar a las ruedas para el desplazamiento del mismo, tiene su origen en la energía química del Gasohol; en el cual mediante una serie de transformaciones y combinaciones de diferentes tipos de energía, se logra su aprovechamiento; es por ello que se han identificado todos los parámetros energéticos de ingreso y salida en los mecanismos, con la finalidad de modelar numéricamente la tendencia de los tipos de energía aprovechable.

En la figura 19, se muestra esquemáticamente el flujo energético, que se da desde su ingreso como energía química del combustible hacia la energía mecánica para el accionamiento final de las ruedas; la diferencia significativa con respecto al accionamiento de un vehículo convencional, es que no solamente la transmisión del vehículo, recibe energía mecánica del motor de combustión interna, sino también recibe energía mecánica proveniente de un motor eléctrico, el cual para su accionamiento, utiliza la energía eléctrica proveniente de un banco o acumuladores de energía (banco de baterías). Este banco de baterías, transforma la energía eléctrica provenientes del generador eléctrico, en energía química, entre las placas interiores que tiene. En esta línea energética, el generador eléctrico, tiene como fuente de energía, la energía mecánica provenientes del motor de combustión interna del vehículo; con ello se ha descrito el flujo energético en un vehículo híbrido.

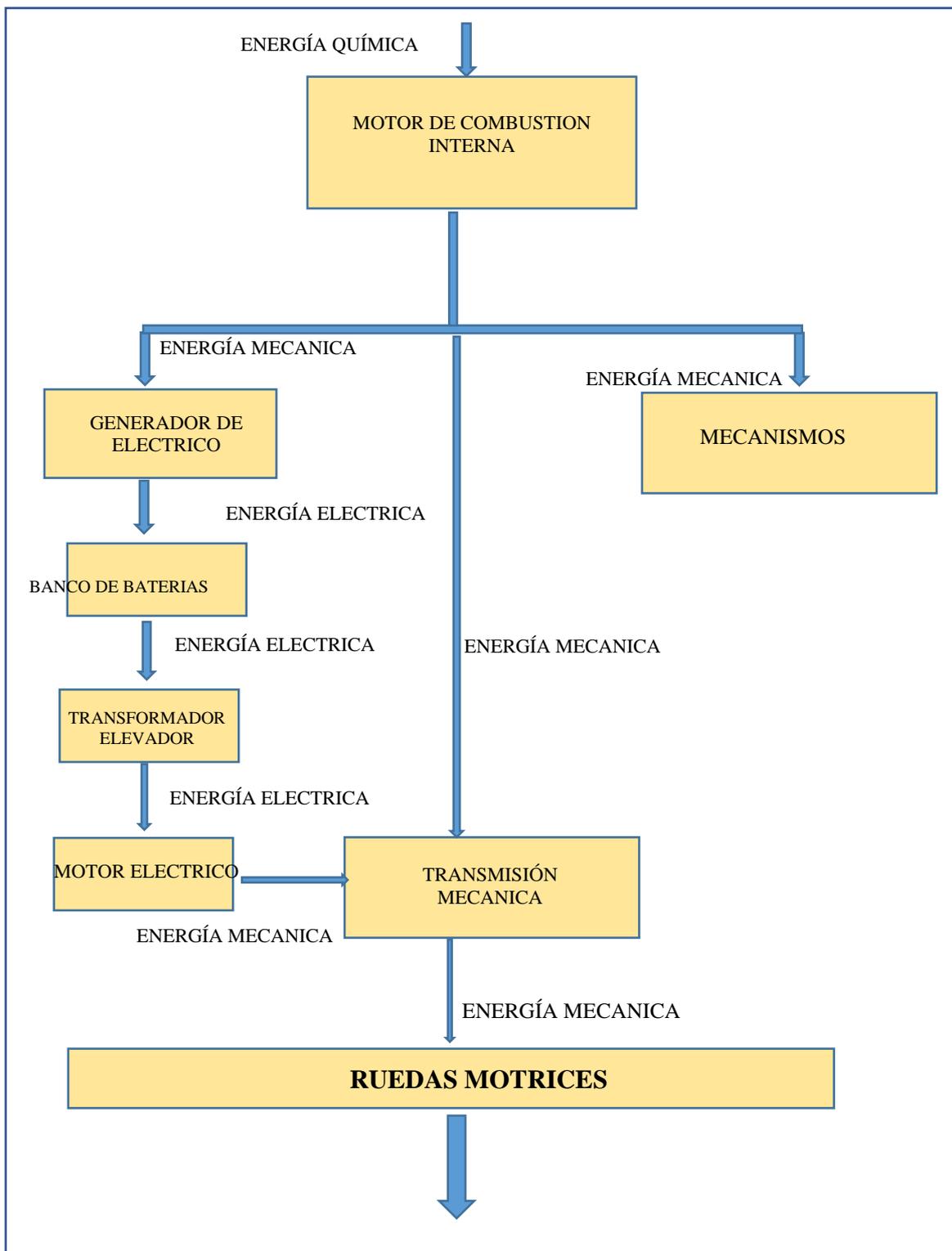


Figura 19. Esquematzación Del Flujo De Energía En Vehículo Automotriz Híbrido

Fuente: Vehículo con Sistema Híbrido autorecargable, HV2.4

Para cada dispositivo que convierte la energía, se ha identificado los parámetros que intervienen, teniendo en cuenta la energía no aprovechable, debido al

funcionamiento específico, es decir la relación entre la energía de salida e ingreso de cada dispositivo.

En la figura 20, se esquematiza la energía de ingreso y salida del motor de combustión interna del vehículo, y se observa que de la energía química del combustible que se transforma en el motor de combustión interna, la energía aprovechable es la energía mecánica, los demás tipos de energía, a pesar que tienen una cantidad significativa, no se transforman en otra forma de energía, y se disipan como energía térmica.

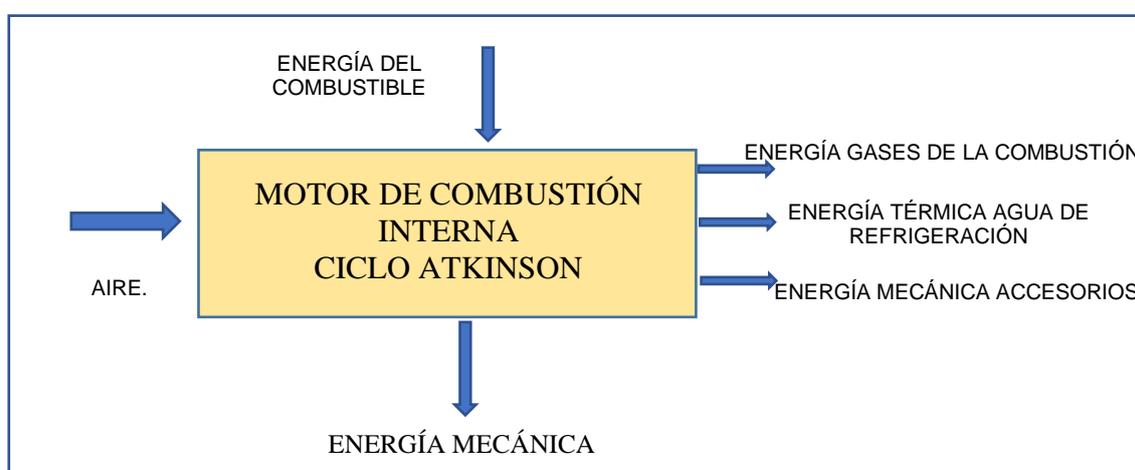


Figura 20. Flujo de Energía en MCI

Fuente: Vehículo con Sistema Híbrido autorecargable, HV2.4

Tabla 4 Parámetros en la energía del combustible

Parámetro	Símbolo	Unidad	Tipo
Flujo Másico de combustible	$\dot{m}$	kg/s	Variable
Presión de combustible	$P_c$	kPa	Variable
Temperatura del combustible	$T_{ci}$	°C	Variable
Valor de Calentamiento Bajo	$LHV$	kJ/kg	Variable

Fuente: Evaluación experimental de un motor de encendido provocado bajo diferentes gasolinas, 2021

Tabla 5. Energía del aire al ingreso del motor de combustión interna

Parámetro	Símbolo	Unidad	Tipo
Flujo Másico de aire	$\dot{m}_a$	kg/s	Variable
Presión de admisión de aire	$P_a$	kPa	Variable
Temperatura de admisión del aire	$T_{ai}$	°C	Variable
Densidad del aire	$\delta_i$	kg/m <sup>3</sup>	Variable

Fuente: Evaluación experimental de un motor de encendido provocado bajo diferentes gasolinas, 2021

Tabla 6. Energía Mecánica de salida del motor de combustión interna

Parámetro	Símbolo	Unidad	Tipo
Torque	$T_m$	N.m	Variable
Velocidad de giro MCI	$\Omega_m$	RPM	Variable
Tiempo de funcionamiento de MCI	$TT_m$	s	Variable

Fuente: Evaluación experimental de un motor de encendido provocado bajo diferentes gasolinas, 2021.

Tabla 7. Energía térmica de los gases de la combustión

Parámetro	Símbolo	Unidad	Tipo
Flujo de Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	kg/s	Variable
Flujo de Vapor de agua	H <sub>2</sub> O	kg/s	Variable
Flujo de Hidrocarburos no quemados	HC	ppm	Variable
Flujo de Monóxido de Carbono	CO	kg/s	Variable
Flujo de gas nitrógeno de la combustión	N <sub>2</sub>	kg/s	Variable

Fuente: Evaluación energética y exergética en un motor de combustión interna ciclo Otto de 1.6 L, 2018

En la figura 21, se esquematiza la energía de ingreso y salida del Generador de Corriente Alterna del vehículo, y se observa que de la energía mecánica proveniente del motor de combustión interna que no se envía a la transmisión mecánica del vehículo se transforma en energía eléctrica, la energía aprovechable es la energía eléctrica, los demás tipos de energía, a pesar que

tienen una cantidad significativa, no se transforman en otra forma de energía, y se disipan como energía térmica.

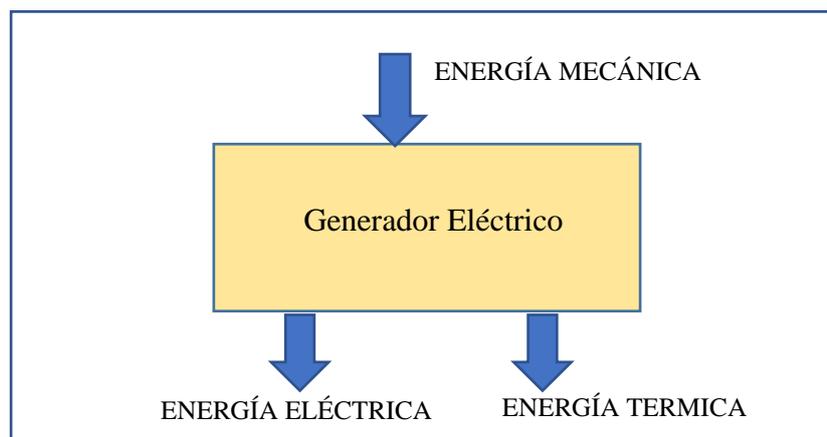


Figura 21 Generador de Corriente Alterna

Fuente: Toyota Hybrid System II, 2018

Tabla 8. Parámetros de la energía mecánica de ingreso al generador de corriente alterna trifásica.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Tipo
Torque de generador	$T_g$	N.m	Variable
Velocidad de giro	$\Omega_g$	RPM	Variable
Tiempo de accionamiento	$TT_{gi}$	s	Variable

Fuente: Toyota Hybrid System II, 2018

Tabla 9. Energía eléctrica a la salida del generador de corriente alterna trifásica

Parámetro	Símbolo	Unidad	Tipo
Tensión eléctrica	$V_g$	V	Fijo
Intensidad de Corriente Eléctrica	$I_g$	A	Variable
Tiempo de suministro de energía eléctrica	$TT_{gs}$	s	Variable

Fuente: Toyota Hybrid System II, 2018

Tabla 10. Energía Térmica a la salida del generador

Parámetro	Símbolo	Unidad	Tipo
Temperatura del generador eléctrico	$T_{gs}$	°C	Variable

Fuente: Toyota Hybrid System II, 2018

En la figura 22, se esquematiza la energía de ingreso y salida del Banco de Baterías del vehículo, y se observa que la energía eléctrica proveniente del generador eléctrico se almacena en forma de energía química, para luego salir como en energía eléctrica.

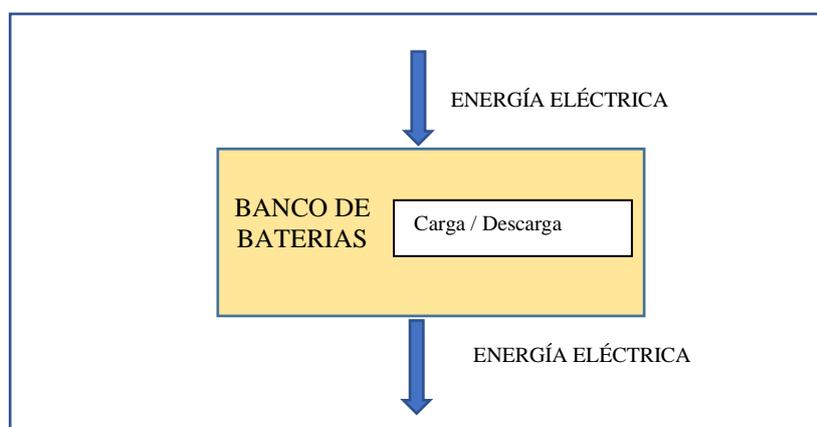


Figura 22 Banco de Baterías

Fuente: Toyota Hybrid System II, 2018

Tabla 11. Energía eléctrica al ingreso del banco de batería

Parámetro	Símbolo	Unidad	Tipo
Tensión Eléctrica	$V_{bi}$	V	Fijo
Intensidad de Corriente Eléctrica	$I_{bi}$	A	Variable
Tiempo de Carga	$TB_i$	s	Variable

Fuente: Toyota Hybrid System II, 2018

Tabla 12. Energía eléctrica a la salida del banco de batería

Parámetro	Símbolo	Unidad	Tipo
Tensión Eléctrica	$V_{bs}$	V	Fijo
Intensidad de Corriente Eléctrica	$I_{bs}$	A	Variable
Tiempo de descarga	$TB_s$	s	Variable

Fuente: Toyota Hybrid System II, 2018.

En la figura 23, se esquematiza la energía de ingreso y salida del transformador elevador, y se observa que de la energía eléctrica proveniente del banco de baterías se transforma en energía eléctrica de alta tensión, la energía aprovechable es la energía eléctrica, los demás tipos de energía, a pesar que tienen una cantidad significativa, no se transforman en otra forma de energía, y se disipan como energía térmica.

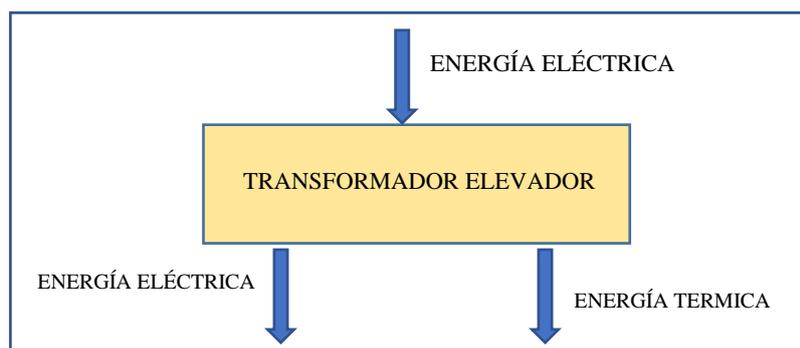


Figura 23 Transformador Elevador

Fuente: Toyota Hybrid System II, 2018

Tabla 13. Energía eléctrica al ingreso del transformador elevador

Parámetro	Símbolo	Unidad	Tipo
Tensión Eléctrica.	$V_{Ti}$	Voltios	Fijo
Intensidad de Corriente Eléctrica	$I_{Ti}$	Amperios	Variable
Tiempo de accionamiento	$TT_i$	s	Variable

Fuente: Toyota Hybrid System II, 2018

Tabla 14. Energía eléctrica a la salida del transformador elevador

Parámetro	Símbolo	Unidad	Tipo
Tensión Eléctrica.	$V_{Ts}$	V	Fijo
Intensidad de Corriente Eléctrica	$I_{Ts}$	A	Variable
Tiempo de accionamiento,	$TT_s$	s	Variable

Fuente: Toyota Hybrid System II, 2018

Tabla 15. Energía térmica a la salida del transformador elevador

Parámetro	Símbolo	Unidad	Tipo
Temperatura del transformador elevador	$T_t$	K	Variable

Fuente: Toyota Hybrid System II, 2018

En la figura 24, se esquematiza la energía de ingreso y salida del motor eléctrico y se observa que, de la energía eléctrica proveniente del transformador elevador, se transforma en energía mecánica, la energía aprovechable es la energía mecánica, los demás tipos de energía, a pesar que tienen una cantidad significativa, no se transforman en otra forma de energía, y se disipan como energía térmica.

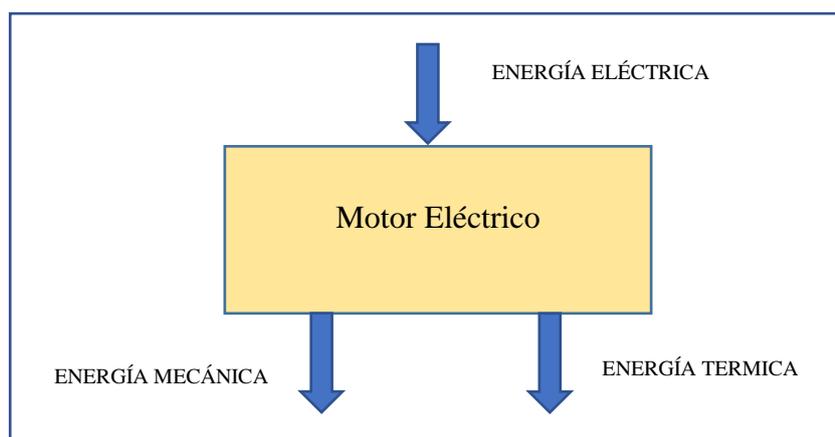


Figura 24 Flujo de energía en motor eléctrico

Fuente: Análisis del funcionamiento de la máquina asíncrona mediante el uso del software MATLAB/Simulink

Tabla 16. Energía eléctrica al ingreso al motor eléctrico

Parámetro	Símbolo	Unidad	Tipo
Tensión eléctrica.	$V_{Ei}$	V	Fijo
Intensidad de Corriente Eléctrica	$IE_i$	A	Variable
Tiempo de funcionamiento	$TT_{Ei}$	s	Variable

Fuente: Análisis del funcionamiento de la máquina asíncrona mediante el uso del software MATLAB/Simulink

Tabla 17. Energía mecánica a la salida del motor eléctrico

Parámetro	Símbolo	Unidad	Tipo
Torque en motor eléctrico.	$T_E$	N.m	Variable
Velocidad de giro de motor eléctrico	$\Omega_E$	RPM	Fijo
Tiempo de funcionamiento	$TT_{Es}$	s	Variable

Fuente: Análisis del funcionamiento de la máquina asíncrona mediante el uso del software MATLAB/Simulink

Tabla 18. Energía térmica a la salida del motor eléctrico

Parámetro	Símbolo	Unidad	Tipo
Temperatura del motor eléctrico	$\mathbb{T}_E$	K	Variable

Fuente: Análisis del funcionamiento de la máquina asíncrona mediante el uso del software MATLAB/Simulink

En la figura 25, se esquematiza la energía de ingreso y salida de la transmisión mecánica, y se observa que este mecanismo, tiene dos ingresos de energía mecánica, la primera proveniente del mismo motor de combustión interna y el segundo ingreso de energía mecánica es la que proviene del motor eléctrico del vehículo, y la energía mecánica de salida es la que acciona finalmente a las ruedas del vehículo híbrido. El cambio de admisión de los torques provenientes del MCI y Motor Eléctrico, lo realiza un sistema de accionamiento de electroválvulas, las cuales son accionadas por la ECU HV, a través de señales eléctricas.

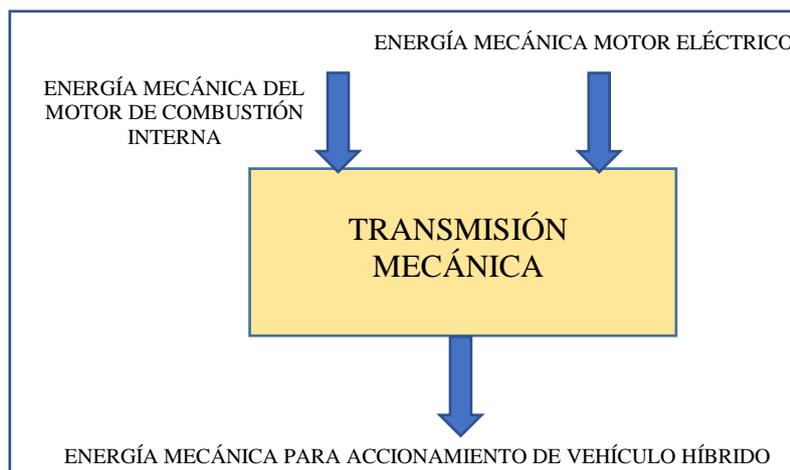


Figura 25 Flujo de energía en transmisión mecánica de vehículo híbrido

Fuente: Toyota Hybrid System II, 2018

Tabla 19. Energía mecánica provenientes del motor de combustión interna que ingresan a la transmisión mecánica

Parámetro	Símbolo	Unidad	Tipo
Torque de la transmisión mecánica al ingreso	$T_m$	N.m	Variable
Velocidad de giro al ingreso de la transmisión mecánica	$\Omega_{Ti}$	RPM	Variable
Tiempo de accionamiento de transmisión mecánica	$TT_{Ti}$	s	Variable

Fuente: Toyota Hybrid System II, 2018

Tabla 20. Energía mecánica provenientes del motor eléctrico que ingresan a la transmisión mecánica

Parámetro	Símbolo	Unidad	Tipo
Torque en motor eléctrico.	$T_E$	N.m	Variable
Velocidad de giro de motor eléctrico	$\Omega_E$	RPM	Fijo
Tiempo de funcionamiento de motor eléctrico	$TT_{Es}$	s	Variable

Fuente: Toyota Hybrid System II, 2018

Tabla 21. Energía mecánica a la salida de la transmisión mecánica

Parámetro	Símbolo	Unidad	Tipo
Torque de la transmisión mecánica salida	$T_v$	N.m	Variable
Velocidad de giro de salida de la transmisión mecánica	$\Omega_v$	RPM	Variable
Tiempo de accionamiento de transmisión mecánica.	$TT_v$	s	Variable

Fuente: Toyota Hybrid System II, 2018

#### 4.1.2. Ficha Técnica de Vehículos de Prueba.

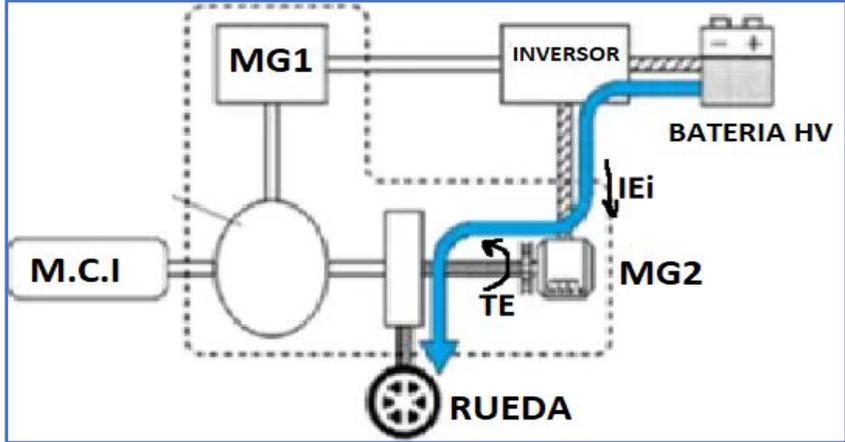
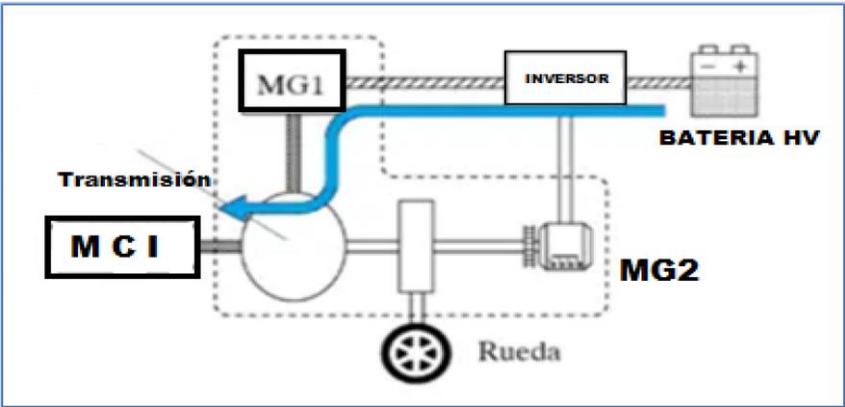
Se tiene la ficha técnica de los 3 vehículos de prueba, todas son de la misma marca, modelo y año 2022 de fabricación, pero presentan diferentes recorridos, número de mantenimientos preventivos realizados, número de aparición de códigos de fallos y velocidad máxima que ha alcanzado en su funcionamiento.

Tabla 22. Ficha Técnica de Vehículos de Prueba

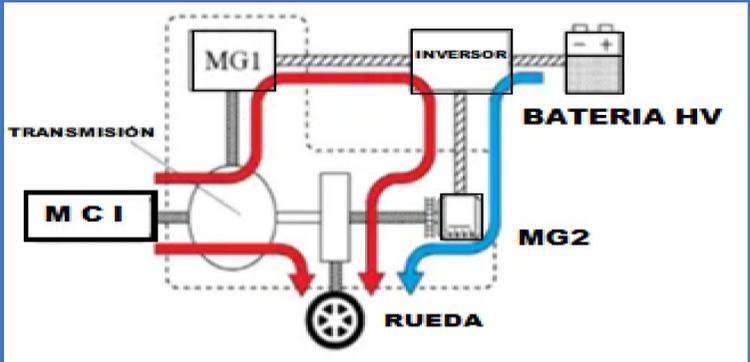
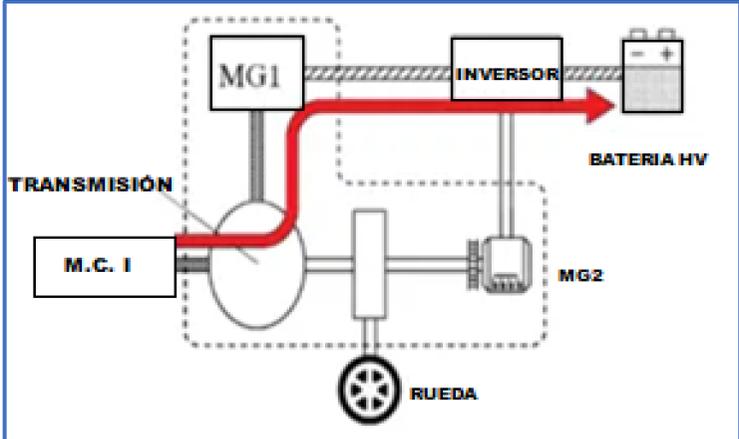
Mecanismo	Descripción	Vehículo de Prueba 1	Vehículo de Prueba 2	Vehículo de Prueba 3
	Kilómetros Recorridos	7821	16545	12545
	Número de Mantenimientos Preventivos	1	3	2
	Número de aparición de códigos de fallos	0	0	0
	Velocidad Máxima Alcanzada (km/h)	138	142	131
	Cilindrada (cm3)	2487	2487	2487
Motor de Combustión Interna	Potencia Máxima (kW/RPM)	131 /5700	131 /5700	131 /5700
	Torque máximo (N.m/RPM)	221/3600	221/3600	221/3600
	Alimentación de combustible	Inyección D4-S mixta (directa e indirecta)	Inyección D4-S mixta (directa e indirecta)	Inyección D4-S mixta (directa e indirecta)
	Relación de compresión	14 a 1	14 a 1	14 a 1
	Potencia máxima delantera (kW)	88	88	88
Motor Eléctrico	Potencia máxima Trasera (kW)	40	40	40
	Voltaje (V)	650	650	650
	Torque máximo (N.m)	121	121	121
	Potencia máxima combinada (kW/RPM)	163/5700		
Batería	Tipo	Batería Níquel – Metal Hidruro (NiMh)	Batería Níquel – Metal Hidruro (NiMh)	Batería Níquel – Metal Hidruro (NiMh)
	Voltaje Nominal (pack batería) (V)	244.8	244.8	244.8
Transmisión	Tipo	Transmisión automática eCVT, continuamente variable.	Transmisión automática eCVT, continuamente variable.	Transmisión automática eCVT, continuamente variable.

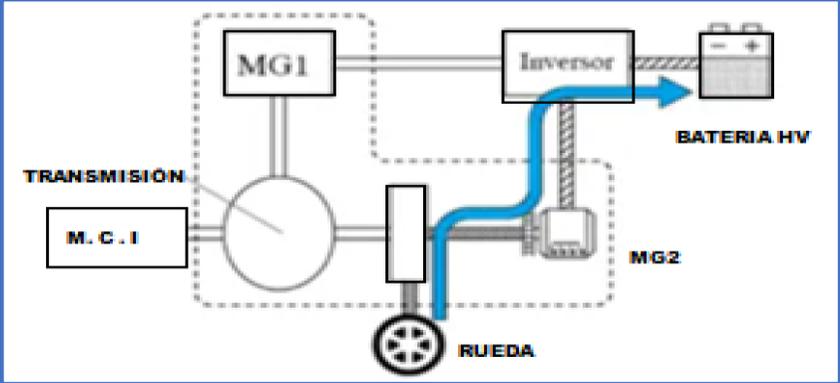
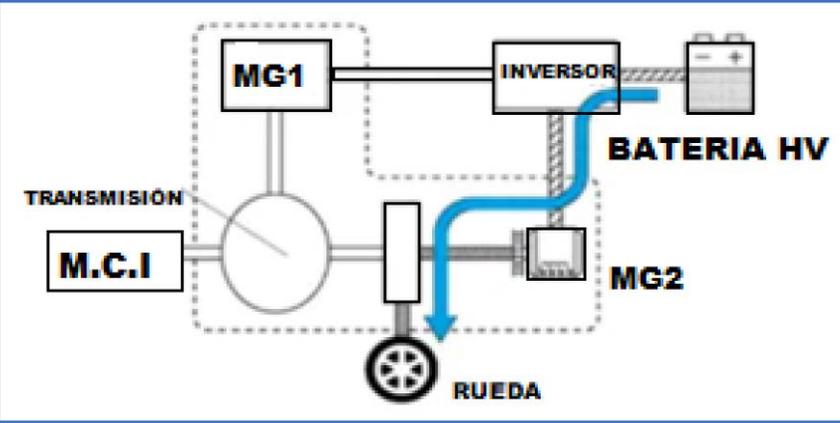
Fuente: Sistema Híbrido auto-recargable, HV, 2.4

Tabla 23. Flujo de energía a diferentes condiciones de funcionamiento

Condición de Funcionamiento	Descripción de la condición de funcionamiento	Flujo de Energía
Arranque y baja velocidad	Hibrido 100%. El motor MG2, en solitario, más eficiente que el de combustión, mueve las ruedas alimentado por la batería.	
Arranque del motor de combustión	El motor MG1, alimentado por la batería, impulsa el motor de combustión para su arranque y MG2 permanece clavado	

Condición de Funcionamiento	Descripción de la condición de funcionamiento	Flujo de Energía
Conducción de cruceo	Las ruedas son accionadas por el motor térmico y MG2 simultáneamente, que se alimenta de MG1	
Carga por batería baja	El motor térmico genera un exceso de energía cargando la batería mediante MG1.. MG2 colabora con el motor térmico en la impulsión del vehículo	

Condición de Funcionamiento	Descripción de la condición de funcionamiento	Flujo de Energía
Aceleración o subida de pendientes	El motor térmico y MG2 impulsan el vehículo. MG1 actúa como generador alimentando a MG2. MG2 es alimentado por la batería y MG1 simultáneamente.	 <p>Este diagrama ilustra el flujo de energía durante la aceleración o subida de pendientes. El motor térmico (M.C.I.) y la batería HV (BATERIA HV) suministran energía a MG1. MG1 actúa como generador, alimentando a MG2. MG2 es alimentado por la batería y MG1 simultáneamente. El flujo de energía se dirige desde MG1 y MG2 a través de la TRANSMISIÓN hasta la RUEDA.</p>
Parada	El motor de combustión se pone en marcha solo si es necesario para aumentar su temperatura y/o cargar la batería	 <p>Este diagrama ilustra el flujo de energía durante la parada. El motor térmico (M.C.I.) está en marcha y su energía fluye a través de MG1 y el INVERSOR hacia la BATERIA HV para cargarla. El flujo de energía se dirige desde MG1 a través del INVERSOR hacia la BATERIA HV.</p>

Condición de Funcionamiento	Descripción de la condición de funcionamiento	Flujo de Energía
Deceleración o frenado regenerativo	MG2 actúa como generador cargando la batería con la energía del frenado, que se desperdiciaría en un vehículo clásico.	
Marcha atrás	El motor MG2 actúa impulsando el vehículo si el SOC y la temperatura de motor son las adecuadas	

Fuente: Sistema Híbrido auto-recargable, HV, 2.4

#### **4.1.3. Parámetros de análisis.**

Al realizar la identificación de los parámetros de funcionamiento de todos los mecanismos que transforman energía en el vehículo híbrido, existen fijos y variables; dentro de los parámetros que tienen variación, existen los que son más significativos y que su incidencia determina la variación de ese tipo de energía. En cuanto al motor de combustión interna, tiene dos parámetros muy característicos que son el torque mecánico y la velocidad de giro; ambos varían en función a las necesidades de energía mecánica que tiene el sistema de transmisión del vehículo; el vehículo híbrido al tener una caja de cambios automática, la velocidad de giro del motor se modifica de acuerdo al torque que requiere el sistema; por lo cual el parámetro la cual se realizará el seguimiento y tendencia de su valor será el torque del motor de combustión interna a diferentes velocidades del vehículo.

En el caso del motor eléctrico, los parámetros de ingreso son la diferencia de tensión eléctrica y la intensidad de corriente eléctrica; siendo el valor de la diferencia de tensión eléctrica fija, el parámetro que se realizará el seguimiento y tendencia de valor, será la intensidad de corriente eléctrica. Los parámetros de salida del motor eléctrico son el torque mecánico y la velocidad de giro; los motores eléctrico síncronos de imanes permanentes mantienen una velocidad constante, por lo cuál el parámetro que se realizará seguimiento y tendencia de su valor será el torque mecánico de salida del motor eléctrico.

#### **4.1.4. Registro de la Medición de Parámetros**

La medición de los parámetros de funcionamiento a diferentes condiciones de operación, se hizo a través de la información de las señales eléctricas que recibe la unidad de control electrónica del vehículo, y que son visualizadas en el scanner automotriz el cual extrajo la información de funcionalidad de cada vehículo de prueba. Se hizo las mediciones de las variables de cada tipo de energía en función a la velocidad de la unidad vehicular, mediante un protocolo de pruebas y luego se registró la información de 3 vehículos de prueba en la ficha de recolección de datos.

### **Protocolo de Pruebas.**

- a) Se requiere de dos técnicos mecatrónicos automotrices para la realización de las pruebas, una para la conducción del vehículo y otro para manejo del Scanner.
- b) Verificar estado actual de la unidad.
- c) Ubicar el conector de diagnóstico DBSCar Vdel Scanner.
- d) Cerrar circuito en la chapa de contacto.
- e) Encender el scanner y en la opción Identificación Inteligente dejar que decodifique el número de chasis del vehículo. (Número de VIN)
- f) Luego, ingresar a la opción diagnóstico de prueba rápida, que permite visualizar los parámetros de funcionamiento del estado del vehículo
- g) Verificas que el reporte aparezca sin código de falla.
- h) La prueba consiste en dar arranque al vehículo, y verificar la condición de funcionamiento, es decir la condición de arranque y baja velocidad, velocidad crucero, aceleración y pendiente, deceleración o frenado regenerativo. Repetir las pruebas 3 veces y obtener el promedio de las mediciones.
- i) En cada condición de funcionamiento, aumentar la velocidad del vehículo de manera gradual, y registrar las lecturas de los valores de vuelo, y de manera indirecta obtener las lecturas de los torques de los motores de combustión interna y motor eléctrico, e intensidad de corriente eléctrica en motor eléctrico, según corresponda.
- j) Para cada valor de registro de velocidad y condición de funcionamiento, medir el consumo de combustible; expresado en ml/km.
- k) La prueba se realizó en el campo de pruebas de un concesionario automotriz.

Los flujos de energía para cada condición de funcionamiento, establecen el ingreso y salida de energía de los mecanismos, teniendo como finalidad el accionamiento de las ruedas del vehículo híbrido; las figuras 26, 27, 28 y 29 muestran dicha configuración

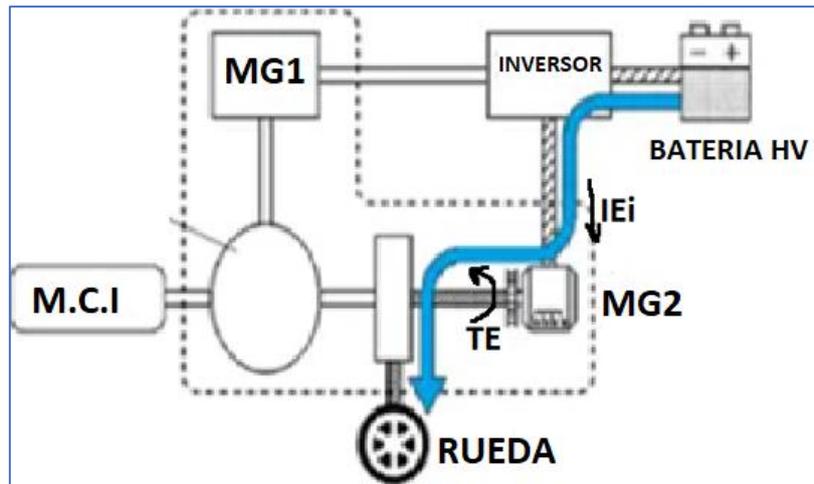


Figura 26 Flujo de energía, condición de funcionamiento de arranque y baja velocidad

Fuente: Sistema Híbrido auto-recargable, HV, 2.4

Tabla 24. Registro de Medición a condición de funcionamiento: Arranque y Baja Velocidad

	Vehículo 1			Vehículo 2			Vehículo 3		
	Velocidad $v$ (km/h)	Torque $T_m$ (N.m)	Torque $T_E$ (N.m)	Velocidad $v$ (km/h)	Torque $T_m$ (N.m)	Torque $T_E$ (N.m)	Velocidad $v$ (km/h)	Torque $T_m$ (N.m)	Torque $T_E$ (N.m)
Arranque	0	35	24.4	0	39.1	23.5	0	29.8	28.1
	1.2	34.1	23.2	0.8	37.5	22.1	1.1	27.8	26.3
	2.1	31.1	22.1	1.8	29.7	20.7	2.1	26.1	22.1
	3.1	27.8	20.7	2.9	28.1	18.7	3.1	25.1	21.2
Baja Velocidad	4.2	16.4	12.2	4.1	16.5	13.8	3.8	14.5	11.2
	5.1	18.5	12.4	5	17.8	14.9	4.9	14.6	11.5
	6.1	20.9	12.8	5.9	20.1	15.2	6.1	14.7	11.8
	7.4	21.2	13.2	7.2	21.8	15.8	6.9	14.9	12.3
	8.1	22.2	13.8	8.2	22.8	16.4	7.9	15.1	12.7
	8.9	23.3	14.7	9.1	23.8	16.9	9.2	15.4	13.1
	9.8	24.5	15.9	10.1	25.1	17.8	10.3	15.9	13.6
	10.7	25.7	17.9	10.9	26.4	18.9	11.1	17.5	14.1
	12.1	27.0	18.3	11.9	27.7	19.9	11.9	17.5	14.7
	12.9	28.4	19.8	12.8	29.2	20.8	12.7	19.2	15.7
	13.8	29.8	21.2	14.1	31.2	22.1	13.8	24.5	16.7
	14.7	31.3	22.7	14.9	33.5	23.2	14.7	24.5	18.1
	15.7	33.8	23.9	15.6	34.1	24.7	15.4	27.2	19.8
	16.4	34.5	25.7	16.4	37.1	26.1	15.9	29.2	22.2
	17.8	36.2	27.7	17.2	39.1	28.4	16.8	31.2	24.8
	18.5	38.0	29.7	18.1	41.8	30.2	17.9	34.5	25.4
	19.1	39.4	31.7	18.8	43.1	32.5	18.7	38.5	28.4
	20	41.9	34.5	19.7	45.4	34.5	19.9	41.2	31.2
	21.1	44.0	35.7	20.7	47.0	37.2	21.3	47.2	34.5
22.4	46.2	37.9							
23.1	48	41.2							

Fuente: Mediciones Realizadas

**Registro de Medición a condición de funcionamiento: Conducción de cruceo.**

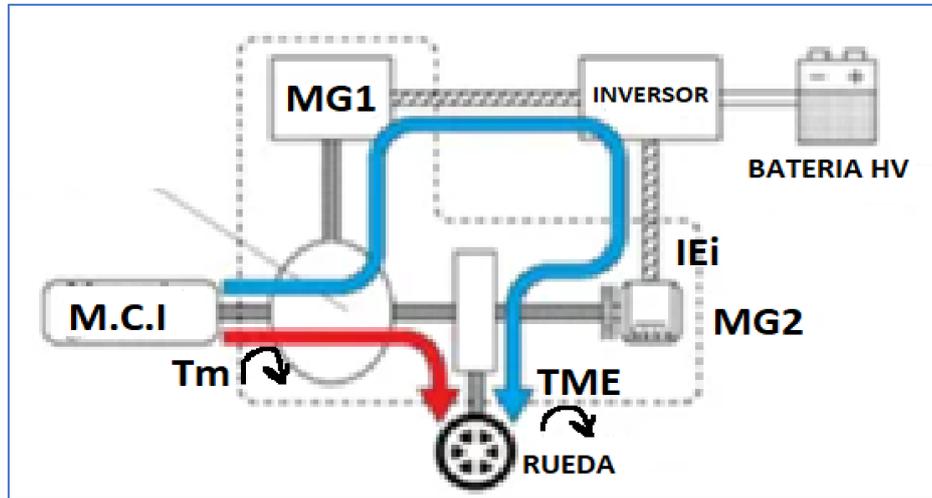


Figura 27 Flujo de energía, condición de funcionamiento de velocidad de cruceo

Fuente: Sistema Híbrido auto-recargable, HV, 2.4

**Tabla 25 Registro de Medición a condición de funcionamiento: Conducción de cruceo.**

1/2

Vehículo 1				Vehículo 2				Vehículo 3			
Velocidad $v$ (km/h)	Torque $T_m$ (N.m)	Torque $T_E$ (N.m)	Intensidad corriente eléctrica $I_{Ei}$ (A)	Velocidad $v$ (km/h)	Torque $T_m$ (N.m)	Torque $T_E$ (N.m)	Intensidad corriente eléctrica $I_{Ei}$ (A)	Velocidad $v$ (km/h)	Torque $T_m$ (N.m)	Torque $T_E$ (N.m)	Intensidad corriente eléctrica $I_{Ei}$ (A)
31.2	66.3	60.8	52.2	29.8	61.0	59.8	51.9	27.7	59.3	60.8	52.1
31.3	66.3	60.9	52.2	30.7	61.2	59.9	51.9	28.1	60.7	60.8	52.1
32.4	66.4	60.9	52.4	31.4	61.2	59.9	51.9	28.4	61.3	60.8	52.1
32.9	66.7	61	52.4	32.1	62.9	59.9	52	28.9	62.4	60.8	52.1
32.9	66.8	61.2	52.4	32.9	63.8	59.9	52	29.1	63.4	60.9	52.1
33.2	66.8	62.2	52.4	33.2	64.0	59.9	52	30.8	63.4	60.9	52.1
33.4	66.9	61.3	52.4	33.9	64.1	59.9	52	31.5	64.3	60.9	52.2
33.5	67.2	61.3	52.5	34.5	64.3	60.0	52	32.4	64.5	60.9	52.3
33.9	67.2	61.3	52.6	34	64.3	60.0	52	33.7	64.6	60.9	52.4
34.4	67.4	61.3	52.6	34.4	64.4	60.3	52	34.1	64.9	61	52.4
34.8	67.6	61.3	52.6	34.8	64.6	60.3	52.2	34.7	65.1	61.1	52.4
35.2	67.8	61.3	52.6	35.2	64.7	60.3	52.2	35.1	65.3	61.1	52.5
35.4	67.9	61.3	52.7	35.4	64.8	60.3	52.3	35.4	65.4	61.2	52.5

Vehículo 1				Vehículo 2				Vehículo 3			
Velocidad v (km/h)	Torque $T_m$ (N.m)	Torque $T_E$ (N.m)	Intensidad corriente eléctrica $I_{EI}$ (A)	Velocidad v (km/h)	Torque $T_m$ (N.m)	Torque $T_E$ (N.m)	Intensidad corriente eléctrica $I_{EI}$ (A)	Velocidad v (km/h)	Torque $T_m$ (N.m)	Torque $T_E$ (N.m)	Intensidad corriente eléctrica $I_{EI}$ (A)
35.9	68.2	61.4	52.7	35.9	65.1	60.3	52.3	35.9	65.2	61.2	52.5
36.1	68.3	61.5	52.7	36.1	66.5	60.3	52.3	36.1	66.8	61.3	52.5
36.7	68.6	61.5	52.8	36.7	67.4	60.3	52.3	36.7	67.7	61.3	52.6
37.8	68.7	61.5	52.9	37.8	69.1	60.3	52.3	37.8	68.2	61.3	52.6
38.1	69.1	61.6	52.9	38.1	69.3	60.5	52.3	38.1	69.1	61.3	52.6
38.5	69.3	61.7	53	39.1	68.6	60.5	52.3	39.1	68.3	61.5	52.8
40.2	70.9	61.9	53	39.9	70.1	60.5	52.5	39.9	69.9	61.5	52.8
40.9	71.8	61.9	53	40.6	73.8	60.7	52.5	40.6	73.3	61.5	53
41.8	73.7	61.9	53.2	42.1	75.8	60.7	52.6	42.1	76.5	61.6	53
42.5	75.2	62.2	53.2	42.4	77.5	60.9	52.6	42.4	77.3	61.6	53.1
42.9	77.1	62.2	53.3	42.8	80.6	60.9	52.6	42.8	79.5	61.6	53.2
43.8	79.6	62.3	53.4	43.8	81.7	61.0	52.8	43.8	81.5	61.6	53.3
44.4	81.9	62.3	53.5	44.3	82.8	61.2	52.9	44.3	83.5	61.7	53.3
44.9	84.3	62.3	53.5	44.7	86.2	61.2	52.9	44.7	87.1	61.7	53.3
45.5	86.8	62.5	53.5	45.5	87.7	61.4	52.9	45.5	86.9	61.7	53.3
45.9	89.6	62.5	53.5	45.9	91.2	61.4	53	45.9	91.2	61.7	53.3
46.5	92.0	62.7	53.8	46.5	92.9	61.6	53	46.5	94.6	61.7	53.4
47.1	95.3	62.7	53.9	46.9	96.2	61.9	53	46.9	97.7	61.7	53.5
47.8	99.6	62.7	54.1	47.7	100.8	61.9	53.1	47.4	99.8	61.7	53.6
48.4	105.2	62.8	54.4	48.1	105.7	61.9	53.3	47.9	106.2	61.9	53.7
48.9	109.3	62.8	54.4	48.4	107.5	62.1	53.5	48.3	108.4	61.9	53.7
49.5	112.8	63.0	54.7	48.6	112.5	62.1	53.7	48.6	110.8	61.9	53.7
50.2	115.9	63.1	54.9	49.1	112.8	62.3	53.8	48.9	112.5	62	53.9
50.9	121.0	63.2	55.1	49.8	116.5	62.3	53.8	49.3	116.0	62	53.9
51.4	126.0	63.2	55.3	50.1	118.8	62.3	54	49.8	119.3	62	53.1

Fuente: Mediciones Realizadas

## Registro de Medición a condición de funcionamiento: Aceleración o subidas o pendientes

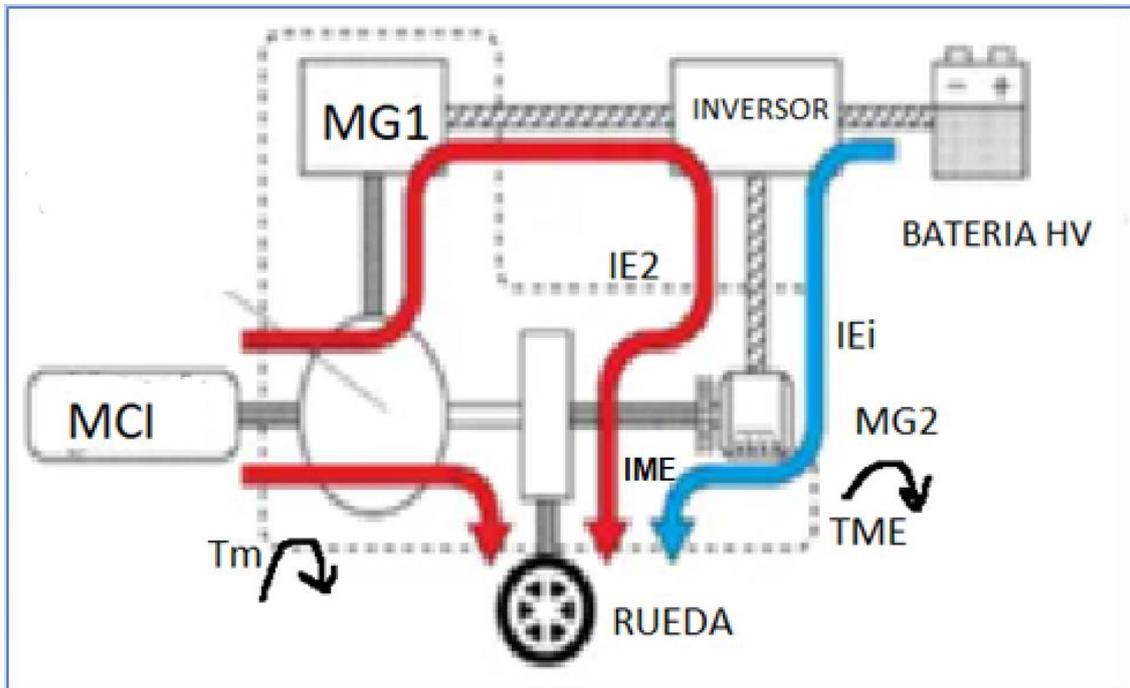


Figura 28 Flujo de energía, condición de funcionamiento Aceleración o subidas o pendientes

Fuente: Sistema Híbrido auto-recargable, HV, 2.4

Tabla 26 Registro de Medición a condición de funcionamiento: Aceleración o subida de pendientes.

1/2

Vehículo 1				Vehículo 2				Vehículo 3			
Velocidad v (km/h)	Torque $T_m$ (N.m)	Torque $T_E$ (N.m)	Intensidad corriente eléctrica $I_{ME}$ (A)	Velocidad v (km/h)	Torque $T_m$ (N.m)	Torque $T_E$ (N.m)	Intensidad corriente eléctrica $I_{ME}$ (A)	Velocidad v (km/h)	Torque $T_m$ (N.m)	Torque $T_E$ (N.m)	Intensidad corriente eléctrica $I_{ME}$ (A)
57.2	90.8	63.8	54.2	56.8	85.4	64.1	52.1	59.2	91.2	66.7	56.2
58.5	93.1	64	54.3	58.5	92.4	64.2	52.2	60.3	94.5	67.1	56.2
59.8	97.2	64.2	54.4	60.1	96.2	64.2	52.3	60.7	96.4	67.4	56.2
61.1	100	64.4	54.4	61.4	100.2	64.4	52.5	60.9	97.2	67.6	57.5
62.4	102	64.8	54.6	62.2	102.2	64.6	52.7	61.3	98.2	68	57.6
63.7	104	64.7	54.6	63.5	105.1	64.8	52.9	62.5	102.4	68.3	57.8
65	106	64.7	54.7	64.8	106.2	65.0	53.1	64.5	105.5	68.8	58.2
66.3	108	64.9	54.8	65.4	109.1	65.2	53.3	66.5	111.0	69.1	58.8
67.6	112.2	65.1	54.9	66.7	110.2	65.5	54.5	68.4	112.7	69.4	59.2
68.9	112.3	65.4	55.1	68.0	113.5	65.7	54.7	69.2	114.2	69.7	60.5
70.2	116.1	65.9	55.6	69.3	117.4	65.9	54.9	71.4	118.0	69.8	61
71.5	117.9	66.1	55.9	70.4	117.4	66.0	55.1	73.4	122.8	70.1	61.6
72.8	118.8	66.3	56.2	71.7	121.2	66.3	55.3	75.4	124.9	70.5	62.1

Vehículo 1				Vehículo 2				Vehículo 3			
Velocidad v (km/h)	Torque $T_m$ (N.m)	Torque $T_F$ (N.m)	Intensidad corriente eléctrica $I_{ME}$ (A)	Velocidad v (km/h)	Torque $T_m$ (N.m)	Torque $T_F$ (N.m)	Intensidad corriente eléctrica $I_{ME}$ (A)	Velocidad v (km/h)	Torque $T_m$ (N.m)	Torque $T_F$ (N.m)	Intensidad corriente eléctrica $I_{ME}$ (A)
74.1	120.8	66.5	56.7	73.0	122.1	66.6	55.8	77.8	126.9	70.8	62.4
75.4	123.7	66.7	57.1	73.9	122.9	66.9	56.1	78.8	128.3	71.1	62.5
76.7	126.8	66.9	57.7	74.1	123.8	67.1	56.4	81.2	129.8	71.4	62.8
78	127.8	67	58.2	75.4	124.8	67.4	56.7	82.2	131.8	71.8	63
79.3	128.8	67.2	58.6	76.7	125.4	67.7	57	82.9	131.9	72.2	63.1
80.6	129.2	67.4	58.9	78.0	126.4	68.0	57.3	83.2	133.2	72.5	63.3
81.9	129.4	67.6	59.2	79.3	129.5	68.3	57.6	84.5	133.1	72.9	63.5
83.2	130	67.8	59.7	80.6	131.0	68.6	57.9	84.9	132.7	73.3	63.7
84.5	131	68.1	60.2	81.9	131.2	68.9	59	85.4	132.8	73.7	64
85.8	131.5	68.3	60.7	82.9	131.5	69.2	59.4	86.8	133.5	74.3	64
87.1	130.5	68.7	60.9	84.2	131.5	69.6	59.8	87.4	133.6	74.8	64.3
88.4	130.2	69	61.2	85.5	131.5	70.0	60.2	89.2	133.8	75.3	64.6
89.7	130	69.3	61.7	87.2	129.5	70.4	60.6	91.2	134.5	75.8	64.6
91	129	69.7	62.4	88.5	129.5	70.8	61	93.2	133.2	76.3	65.2
92.3	129	70.1	62.8	89.8	128.4	71.2	61.5	97.2	132.2	77.1	66
93.6	129	70.6	63.5	91.1	128.5	71.7	62	99.2	131.2	77.6	66.4
94.9	127	70.8	63.9	92.4	126.4	72.2	62.5	101.2	129.4	78.1	66.8
96.2	127	71.1	64.1	93.7	126.1	72.7	62.9	103.2	127.5	78.6	67.4
97.5	125	71.5	64.3	95.0	125.4	73.2	63.4	105.2	125.3	79.2	68.2
98.8	123	71.8	64.7	96.3	124.5	73.7	63.9	106.5	123.7	79.8	68.2
100.1	122	72.4	65.3	97.6	122.9	74.2	64.4	107.8	120.5	80.7	68.4
101.4	121	72.8	66.2	98.9	120.7	74.8	64.9	109.1	118.4	81.6	69.7
102.7	118	74.5	67.8	100.2	119.0	75.3	65.6	110.4	117.8	82.1	70.8
104	117	76.8	68.1	101.5	117.0	76.0	66.2	111.7	115.4	82.6	71.4
105.3	115	77.8	68.7	102.8	114.5	76.8	66.6	113	111.2	83.2	71.5
106.6	112	78.9	69.4	104.1	110.5	77.4	67.4	114.3	108.8	83.9	71.5
107.9	108	80.2	70.1	105.4	109.2	78.3	68.1	115.6	107.8	84.5	73.5
109.2	104	81.8	70.9	106.7	106.3	79.2	68.9	116.9	105.4	85	74.5
110.5	103	82.9	72.1	108.0	102.2	80.3	69.7	118.2	102.4	85.7	75.4
111.8	101	84.5	73.8	109.3	98.1	82.4	71.4	119.5	99.5	86.5	76.5

Fuente: Mediciones Realizadas

### Registro de Medición a condición de funcionamiento: Deceleración o frenado regenerativo

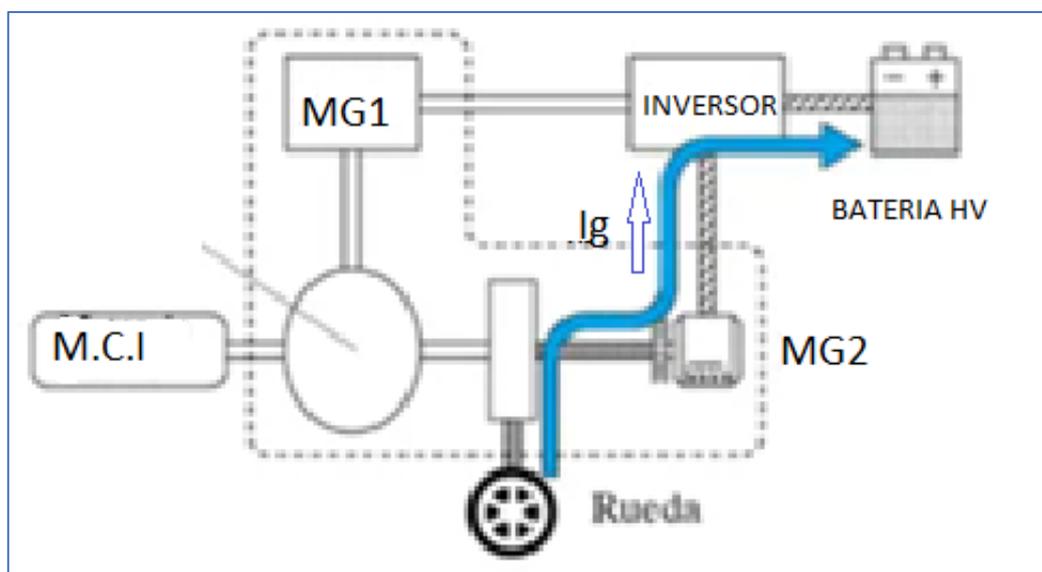


Figura 29 Flujo de energía, condición de funcionamiento Aceleración o subidas o pendientes

Fuente: Sistema Híbrido auto-recargable, HV, 2.4

Tabla 27. Registro de Medición a condición de funcionamiento: Deceleración o frenado regenerativo

1/2

Vehículo 1		Vehículo 2		Vehículo 3	
Velocidad $v$ (km/h)	Intensidad de Corriente Eléctrica $I_g$ (A)	Velocidad $v$ (km/h)	Intensidad de Corriente Eléctrica $I_g$ (A)	Velocidad $v$ (km/h)	Intensidad de Corriente Eléctrica $I_g$ (A)
122.1	25.4	124.8	27.5	118.4	26.1
121	24.2	123.0	25.4	117.5	25.2
119.9	23.3	121.2	22.4	116.6	23.5
118.8	22.2	119.4	21.2	114.7	22.0
117.7	20.2	117.6	19.8	112.8	21.4
114.3	19.2	114.1	18.5	110.9	19.2
110.9	18.2	110.6	17.5	107.4	18.2
107.5	17.5	107.1	16.9	103.9	17.4
104.1	16.4	103.6	15.8	100.4	16.3
100.7	16.2	100.1	14.5	96.9	16.1
97.3	14.2	95.5	14.3	92.7	15.8
96.5	13.9	94.2	12.9	91.2	15.1
95.2	13.2	91.2	11.8	89.5	14.8
93	12.2	90.9	11.0	88.5	12.2
88.7	9.8	86.3	8.8	84.3	11.5
84.4	7.5	81.7	6.5	80.1	9.5
82.2	7.1	78.5	6.4	77.2	9.1
80.1	6.4	77.1	5.8	75.9	8.7

Vehículo 1		Vehículo 2		Vehículo 3	
Velocidad v (km/h)	Intensidad de Corriente Eléctrica $I_g$ (A)	Velocidad v (km/h)	Intensidad de Corriente Eléctrica $I_g$ (A)	Velocidad v (km/h)	Intensidad de Corriente Eléctrica $I_g$ (A)
74.2	5.2	71.9	4.5	70.3	6.5
68.3	4.1	66.7	3.3	64.7	5.2
62.4	3.2	61.5	2.3	59.1	3.8
56.5	2.1	55.1	0.0	53.5	3.5
50.6	1.1	48.7	0.0	47.9	0.4
42.7	0.9	42.3	0.0	40.8	0.0
34.8	0.7	35.9	0.0	33.7	0.0
26.9	0	27.7	0.0	26.6	0.0
19	0	18.4	0.0	19.5	0.0
11.1	0	9.2	0.0	12.4	0.0
4.1	0	2.1	0.0	5.3	0.0
0	0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Mediciones Realizadas

Tabla 28. Registro de Medición de Consumo de Combustible para dos condiciones de funcionamiento

Condición de Funcionamiento	Vehículo 1		Vehículo 2		Vehículo 3		Condición de Funcionamiento	Vehículo 1		Vehículo 2		Vehículo 3	
	Velocidad v (km/h)	Consumo de Combustible Q (ml/km)	Velocidad v (km/h)	Consumo de Combustible Q (ml/km)	Velocidad v (km/h)	Consumo de Combustible Q (ml/km)		Velocidad v (km/h)	Consumo de Combustible Q (ml/km)	Velocidad v (km/h)	Consumo de Combustible Q (ml/km)	Velocidad v (km/h)	Consumo de Combustible Q (ml/km)
Velocidad de cruceo	31.2	41.8	29.8	42.8	27.7	40.1	Aceleración y Pendiente	57.2	43.1	56.8	44.8	59.2	43.5
	31.3	41.8	30.7	42.8	28.1	40.1		58.5	43	58.5	44.1	60.3	42.7
	32.4	41.8	31.4	42.7	28.4	40.1		59.8	42.5	60.1	44	60.7	42.6
	32.9	41.7	32.1	42.7	28.9	40		61.1	41.8	61.4	43	60.9	42.9
	32.9	41.7	32.9	42.7	29.1	40		62.4	41.7	62.2	42.8	61.3	42.5
	33.2	41.7	33.2	42.6	30.8	40		63.7	41.7	63.5	42.5	62.5	42.5
	33.4	41.7	33.9	42.6	31.5	40		65	41.1	64.8	42.2	64.5	41.8
	33.5	41.6	34.5	42.5	32.4	39.9		66.3	40.7	65.4	41.9	66.5	41.4
	33.9	41.6	34	42.5	33.7	39.9		67.6	40.5	66.7	41.9	68.4	41.4
	34.4	41.5	34.4	42.5	34.1	39.8		68.9	39.5	68	41.8	69.2	41.1
	34.8	41.5	34.8	42.4	34.7	39.8		70.2	39.4	69.3	41.6	71.4	40.7
	35.2	41.5	35.2	42.4	35.1	39.8		71.5	38.9	70.4	41.5	73.4	40.6
	35.4	41.4	35.4	42.3	35.4	39.7		72.8	38.7	71.7	41.4	75.4	40.1
	35.9	41.4	35.9	42.3	35.9	39.7		74.1	38.4	73	41.2	77.8	39.7
	36.1	41.3	36.1	42.2	36.1	39.6		75.4	38.1	73.9	41.2	78.8	39.7
	36.7	41.3	36.7	42.1	36.7	39.6		76.7	38.1	74.1	41.1	81.2	39.4
	37.8	41.2	37.8	42.1	37.8	39.5		78	37.7	75.4	41	82.2	39.3
	38.1	41.2	38.1	42	38.1	39.5		79.3	37.4	76.7	40.9	82.9	39.3
	39.1	41.1	39.1	42	39.1	39.4		80.6	37.5	78	40.5	83.2	39.2
	40.2	41.1	39.9	41.9	39.9	39.4		81.9	37.3	79.3	40.4	84.5	39.2
40.9	41	40.6	41.8	40.6	39.3	83.2	37.2	80.6	40.2	84.9	39.1		
41.8	40.9	42.1	41.8	42.1	39.3	84.5	36.5	81.9	40.2	85.4	39		
42.5	40.9	42.4	41.7	42.4	39.2	85.8	36.5	82.9	40.1	86.8	38.7		
42.9	40.8	42.8	41.6	42.8	39.1	87.1	36.4	84.2	39.5	87.4	38.5		
43.8	40.7	43.8	41.5	43.8	39.1	88.4	36.4	85.5	39.3	88.4	38.4		

Condición de Funcionamiento	Vehículo 1		Vehículo 2		Vehículo 3		Condición de Funcionamiento	Vehículo 1		Vehículo 2		Vehículo 3	
	Velocidad v (km/h)	Consumo de Combustible Q (ml/km)	Velocidad v (km/h)	Consumo de Combustible Q (ml/km)	Velocidad v (km/h)	Consumo de Combustible Q (ml/km)		Velocidad v (km/h)	Consumo de Combustible Q (ml/km)	Velocidad v (km/h)	Consumo de Combustible Q (ml/km)	Velocidad v (km/h)	Consumo de Combustible Q (ml/km)
	44.4	40.7	44.3	41.5	44.3	39		89.7	36.3	87.2	39.2	91.2	38.3
	44.9	40.6	44.7	41.4	44.7	38.9		91	36.2	88.5	39.2	93.2	38.5
	45.5	40.5	45.5	41.3	45.5	38.9		92.3	36.4	89.8	38.9	97.2	38.6
	45.9	40.4	45.9	41.2	45.9	38.8		93.6	36.8	91.1	38.7	99.2	38.8
	46.5	40.4	46.5	41.1	46.5	38.7		94.9	36.9	92.4	38.6	101.2	38.6
	47.1	40.3	46.9	41	46.9	38.6		96.2	37	93.7	38.7	103.2	38.6
	47.8	40.2	47.7	40.9	47.4	38.6		97.5	37.1	95	38.8	105.2	38.9
	48.4	40.1	48.1	40.8	47.9	38.5		98.8	37.2	96.3	38.8	106.5	38.7
	48.9	40	48.4	40.8	48.3	38.4		100.1	37.3	97.6	38.9	107.8	38.5
	49.5	39.8	48.6	40.7	48.6	38.3		101.4	37.5	98.9	39	109.1	38.8
	50.2	39.8	49.1	40.6	48.9	38.2		102.7	37.6	100.2	39	110.4	38.8
	50.9	39.8	49.8	40.5	49.3	38.1		104	37.7	101.5	39.1	111.7	38.9
	51.4	39.7	50.1	40.4	49.8	38		105.3	37.9	102.8	39.2	113	39
								106.6	38.1	104.1	39.5	114.3	39.1
								107.9	38.2	105.4	39.7	115.6	39.2
								109.2	38.4	106.7	39.9	116.9	39.2
								110.5	38.6	108	40.2	118.2	39.3
								111.8	38.8	109.3	40.3	119.5	39.4

Fuente: Mediciones Realizadas

## 4.2. Modelo numérico que optimice los óptimos flujos de energía.

### 4.2.1. Modelamiento de la tendencia de los parámetros a diferentes condiciones de funcionamiento.

En este resultado de la investigación se determinó la influencia de los torques del motor de combustión interna y del motor eléctrico, a fin de determinar el consumo de combustible, estableciendo las relaciones entre dichas variables, y verificando los valores de velocidad del vehículo a los cuales se optimice el consumo de combustible.

#### **Condición de funcionamiento: Arranque y Baja Velocidad**

En la figura 30, se muestra los resultados de la variación del torque mecánico del motor eléctrico ( $T_E$ ) y de Intensidad de corriente eléctrica del motor eléctrico ( $IE_i$ ), en función a la variación de velocidad de los 3 vehículos de prueba, en los cuales se concluye que:

- a) El torque mecánico del motor eléctrico y la intensidad de corriente que ingresa al motor eléctrico, tienen una relación no lineal con el valor de la velocidad del vehículo.
- b) Se estableció mediante el modelo de regresión no lineal, utilizando los datos que se tomaron del registro de funcionamiento del funcionamiento del vehículo, a la condición de funcionamiento de arranque y baja velocidad.
- c) En cuanto al torque mecánico del motor eléctrico, su valor se incrementó debido a la toma de carga del vehículo al incrementar su velocidad; este valor de incremento de relación cuadrática, se dio dentro de cada rango de valores de velocidad de cada vehículo. Los motores eléctricos incrementan el torque mecánico de salida en función a la intensidad de corriente eléctrica que ingresa.
- d) El flujo de energía en esta condición de funcionamiento de arranque y baja velocidad, no muestra consumo de combustible del vehículo, notando que los valores promedios máximos de velocidad de vehículo en esta condición de funcionamiento fueron de 21.7 km/h.

Tabla 29. Relación Numérica para arranque y baja velocidad

Vehículo de Prueba	Relación Numérica	Coefficiente de determinación
Vehículo 1	$T_E = 0.0326v^2 + 0.7087v + 14.103$	0.9968
	$IEi = 0.0614v^2 - 0.1378v + 11.35$	0.9964
Vehículo 2	$T_E = 0.053v^2 + 0.502v + 14.509$	0.9956
	$IEi = 0.0792v^2 - 0.6574v + 16.113$	0.9946
Vehículo 3	$T_E = 0.1459v^2 - 1.7796v + 19.596$	0.9932
	$IEi = 0.099v^2 - 1.1675v + 14.979$	0.9906

Fuente: Elaboración Propia.

- e) La variación entre los valores máximos y mínimos en el cual se dio esta condición de funcionamiento, para el caso del torque mecánico del motor eléctrico, fue en promedio de 31.6 N.m, y teniendo en cuenta que el torque máximo nominal según especificación del fabricante es de 202 N.m, el porcentaje del torque mecánico del motor eléctrico del vehículo híbrido que se empleó fue 15.64%.
- f) La variación entre los valores máximos y mínimos en el cual se dio esta condición de funcionamiento, para el caso de la Intensidad de corriente eléctrica que requiere el motor eléctrico para su accionamiento, fue en promedio de 25.23 A, y teniendo en cuenta que la intensidad máxima nominal según especificación del fabricante es de 86.97 A, el porcentaje de la Intensidad de corriente eléctrica del motor eléctrico del vehículo híbrido que se empleó fue 29.01%.

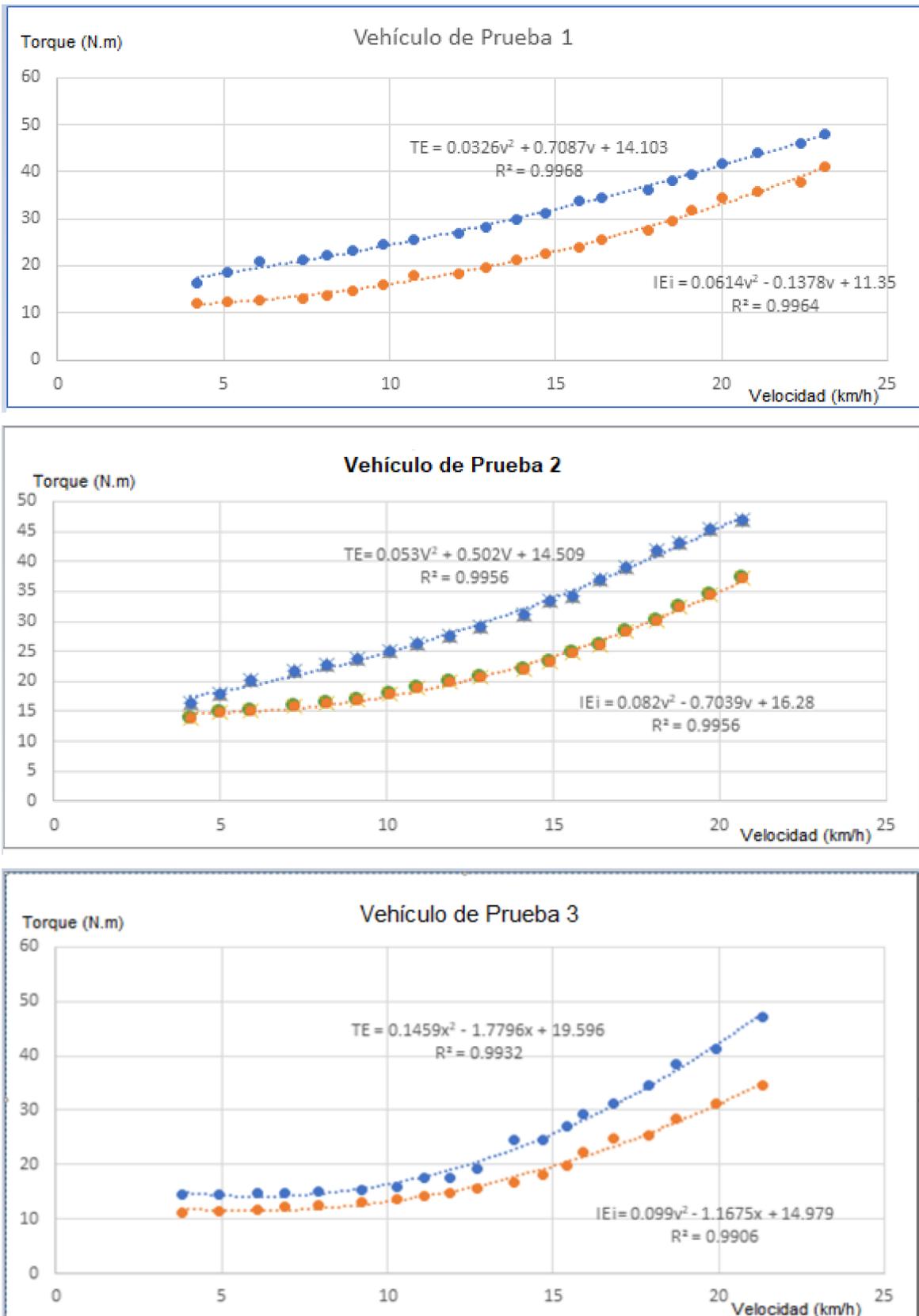


Figura 30. Modelamiento numérico para Condición de funcionamiento: Arranque y Baja Velocidad.

Fuente: Elaboración Propia.

**Condición de funcionamiento: Conducción de crucero.**

En la figura 31 se muestra los resultados de la variación del torque mecánico del motor de combustión interna ( $T_m$ ), del torque mecánico del motor eléctrico ( $T_E$ ) y de Intensidad de corriente eléctrica del motor eléctrico ( $IE_I$ ), en función a la variación de velocidad de los 3 vehículos de prueba, en los cuales se concluye que:

- a) En esta condición de funcionamiento que es la velocidad de crucero, la energía mecánica que acciona a la transmisión mecánica, proviene del motor de combustión interna y del motor eléctrico; el Motor de combustión interna inicia su funcionamiento con una velocidad promedio de 29.5 km/h; y esta condición concluye a una velocidad máxima promedio de 50.43 km/h.
- b) El torque mecánico del motor de combustión interna, el torque mecánico del motor eléctrico y la intensidad de corriente que ingresa al motor eléctrico tienen una relación no lineal con la velocidad del vehículo.
- c) Se estableció mediante el modelo de regresión no lineal, utilizando los datos que se tomaron del registro de funcionamiento del funcionamiento del vehículo, a la condición de funcionamiento de velocidad de crucero.
- d) En el funcionamiento del motor de combustión interna, éste entregó un torque mínimo promedio de 62.2 N.m, y un torque máximo promedio de 121.4 N.m; esta variación de torque mecánico del motor de combustión interna tuvo un incremento no lineal con respecto a la velocidad del vehículo.
- e) En cuanto al torque mecánico del motor eléctrico, para esta condición de funcionamiento, con un valor mínimo promedio de 60.5 N.m, y un valor máximo promedio de 62.5 N.m, teniendo un incremento no lineal en comparación al incremento de la velocidad del vehículo.

Tabla 30. Relación numérica para velocidad crucero

Vehículo de Prueba	Relación Numérica	Coefficiente de determinación
Vehículo 1	$Tm = 0.2295v^2 - 16.283v + 354.64$	0.990
	$T_E = 0.0014v^2 - 0.010 + 59.969$	0.932
	$IEi = 0.0064v^2 - 0.3954v + 58.579$	0.972
Vehículo 2	$Tm = 0.1894v^2 - 12.586v + 271.92$	0.987
	$T_E = 0.006v^2 - 0.362v + 65.375$	0.987
	$IEi = 0.0044v^2 - 0.2661v + 55.986$	0.959
Vehículo 3	$Tm = 0.1698v^2 - 10.876v + 235.63$	0.978
	$T_E = 0.000006v^2 + 0.0509v + 59.291$	0.971
	$IEi = 0.0012v^2 - 0.0105v + 51.425$	0.946

Fuente: Elaboración Propia.

- f) Así mismo se pudo determinar la variación de la intensidad de corriente eléctrica que ingresó al motor eléctrico, teniendo un valor mínimo promedio de 52.06 Amperios, y un valor máximo promedio de 54.13 Amperios; esta variación de intensidad de corriente eléctrica tiene una relación no lineal con respecto al incremento de la velocidad del vehículo.
- g) La variación entre los valores máximos y mínimos en el cual se dio esta condición de funcionamiento, para el caso del torque mecánico del motor eléctrico, fue en promedio de 61.5 N.m, y teniendo en cuenta que el torque máximo nominal según especificación del fabricante es de 202 N.m, el porcentaje del torque mecánico del motor eléctrico del vehículo híbrido que se empleó fue: 30.44%.
- h) La variación entre los valores máximos y mínimos en el cual se dio esta condición de funcionamiento, para el caso de la Intensidad de corriente eléctrica que requiere el motor eléctrico para su accionamiento, fue en promedio de 53.09 A, y teniendo en cuenta que la intensidad máxima nominal según especificación del fabricante es de 86.97 A, el porcentaje de la Intensidad de corriente eléctrica del motor eléctrico del vehículo híbrido que se empleó fue: 61.04%.

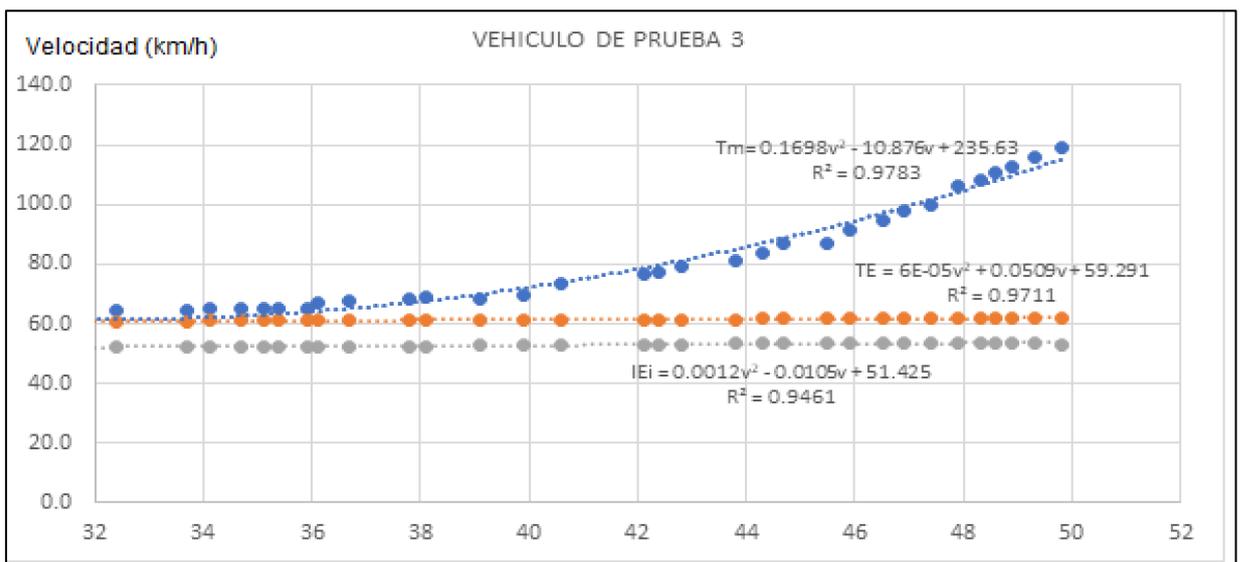
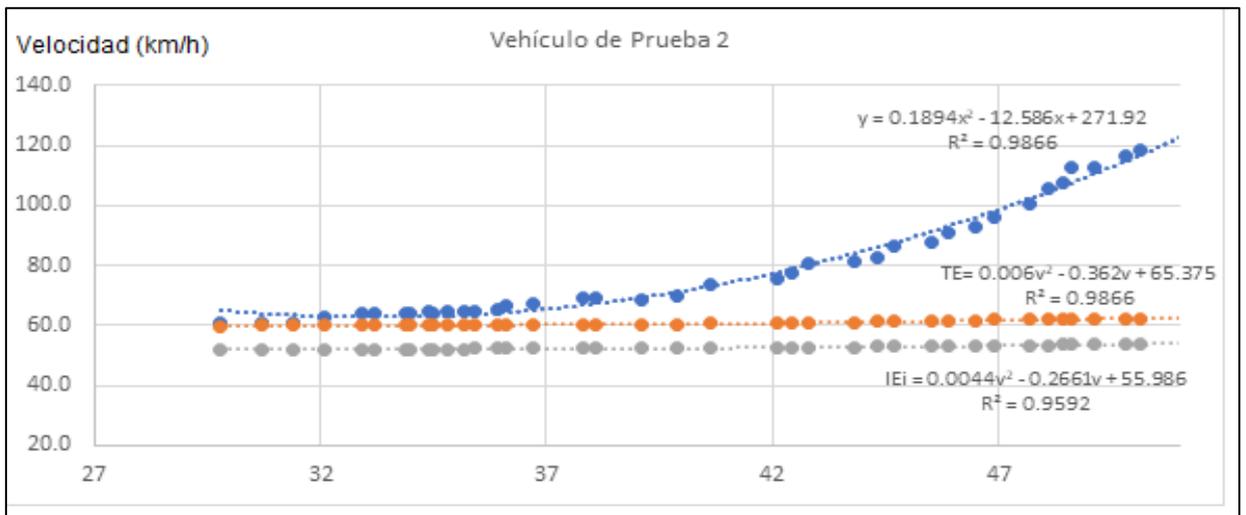
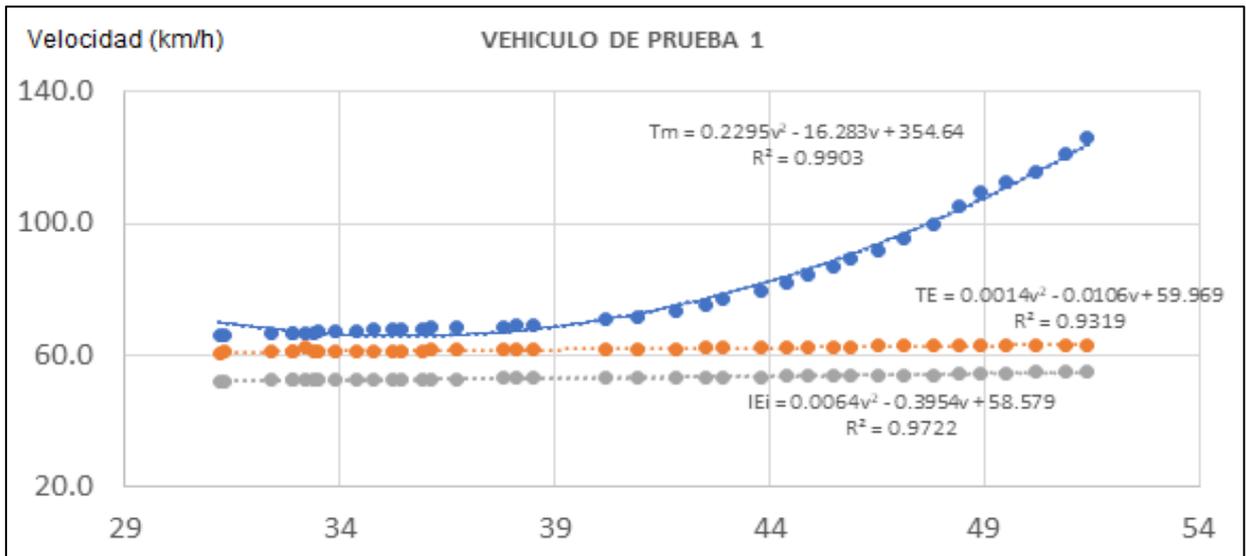


Figura 31 Modelamiento numérico para Condición de funcionamiento:  
Velocidad de Crucero

Fuente: Elaboración Propia.

- i) Para el análisis de la velocidad del vehículo híbrido en función a la combinación del torque que sale de la transmisión mecánica para el accionamiento de las ruedas, para esta condición de funcionamiento de velocidad de crucero, se estableció la influencia del torque del motor de combustión interna  $T_m$  y del torque del motor eléctrico; para lo cual se hizo una modelación teniendo como variables independientes a  $T_m$  y  $T_E$ , y como variable dependiente la velocidad del vehículo híbrido. Se utilizó la metodología de regresión no lineal múltiple, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 31. Regresión no lineal múltiple de velocidad con torque de MCI y Torque motor eléctrico

Vehículo de Prueba	Relación Numérica	Coefficiente de correlación múltiple
Vehículo 1	$v = -19868.58 - 8.96 T_m + 652.25 T_E - 0.0066 T_m^2 + 0.16 T_m \cdot T_E - 5.35 T_E^2$	0.972
Vehículo 2	$v = -1560.8 + 18.03 T_m + 26.27 T_E - 0.0058 T_m^2 - 0.306 m \cdot T_E + 0.0046 T_E^2$	0.989
Vehículo 3	$v = -22440.6 + 11.4 T_m + 711.3 T_E - 0.00099 T_m^2 - 0.17 T_m \cdot T_E - 5.63 T_E^2$	0.992

Fuente: Elaboración Propia.

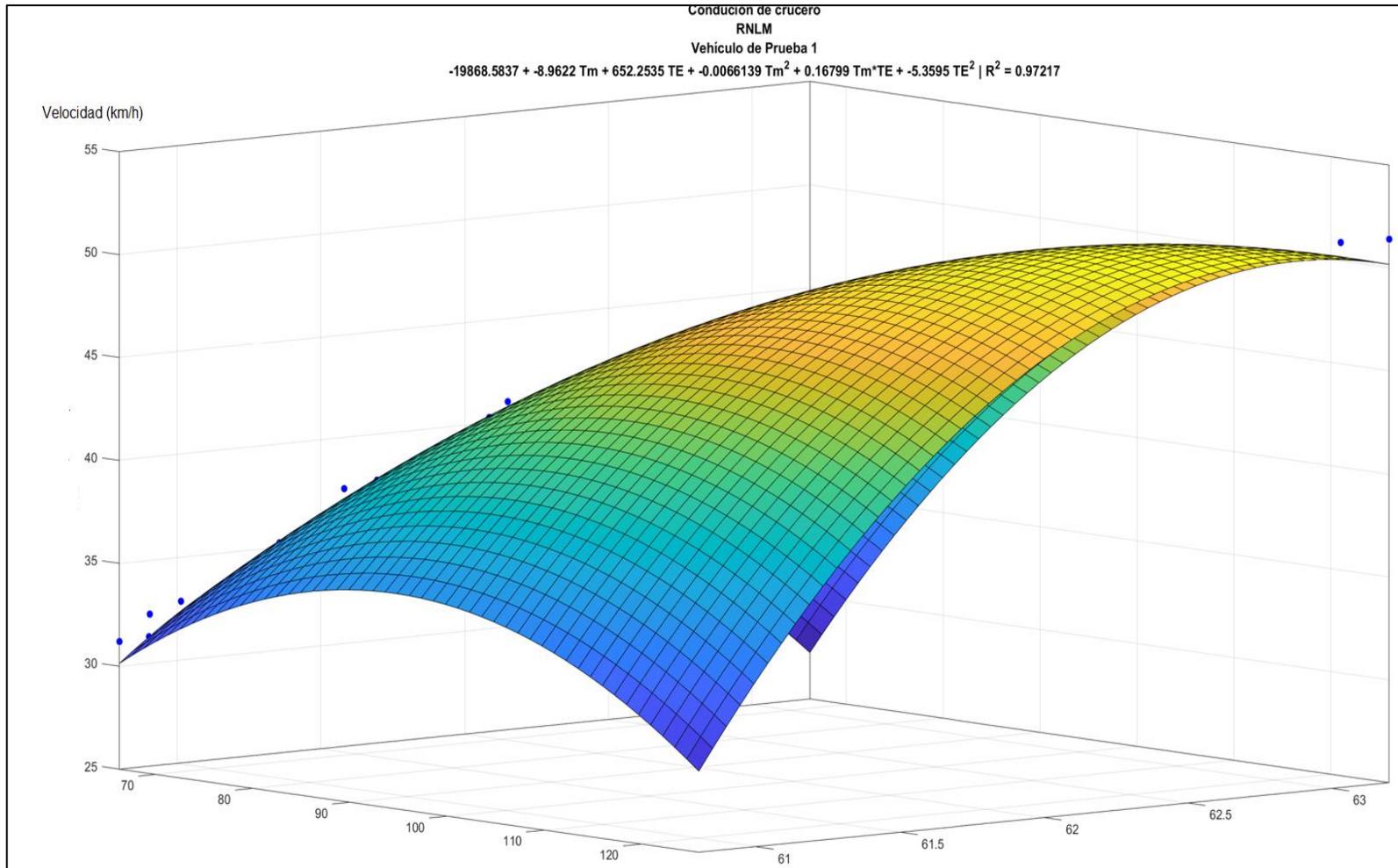


Figura 32. Modelamiento Numérico de Velocidad de vehículo y torque de MCI y Torque Motor eléctrico. Condición cruceo vehículo 1

Fuente: Elaboración Propia.

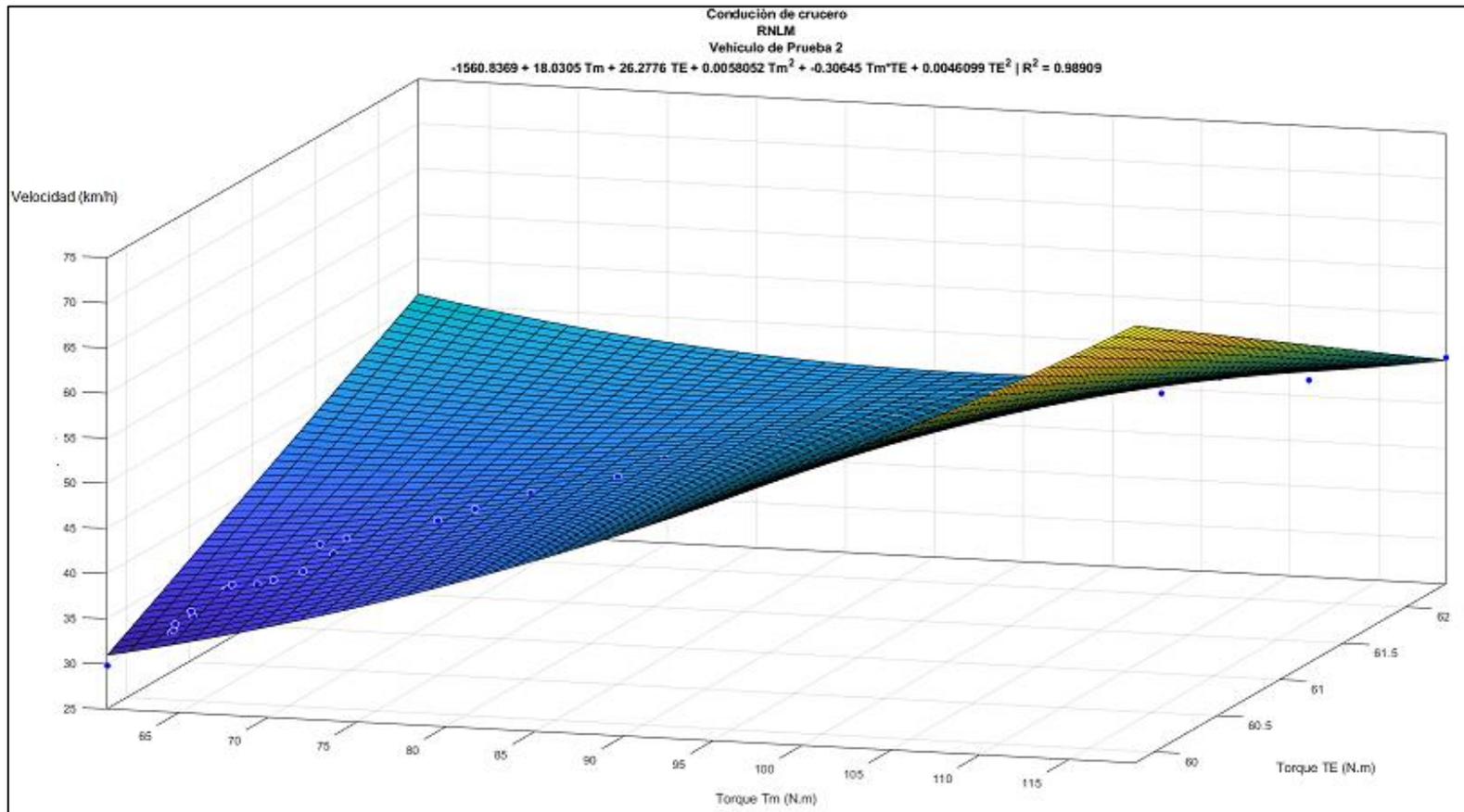


Figura 33. Modelamiento Numérico de Velocidad de vehículo y torque de MCI y Torque Motor eléctrico. Condición crucero vehículo 2

Fuente: Elaboración Propia.

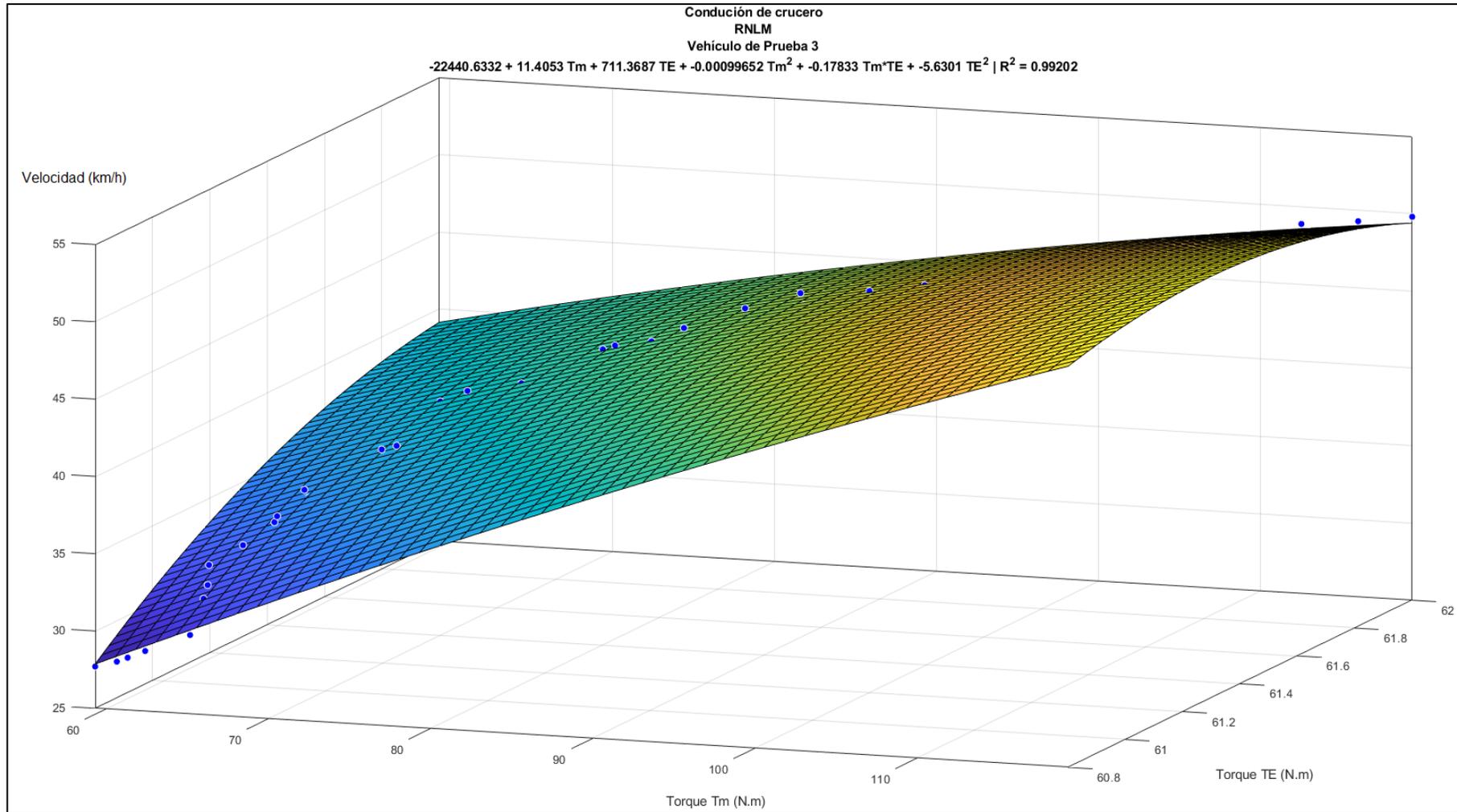


Figura 34. Modelamiento Numérico de Velocidad de vehículo y torque de MCI y Torque Motor eléctrico. Condición cruceo vehículo 3

Fuente: Elaboración Propia.

**Condición de funcionamiento: Aceleración y Pendiente.**

En la figura 35, se muestra los resultados de la variación del torque mecánico del motor de combustión interna ( $T_m$ ), del torque mecánico del motor eléctrico ( $T_E$ ) y de Intensidad de corriente eléctrica del motor eléctrico ( $I_{ME}$ ), en función a la variación de velocidad de los 3 vehículos de prueba, en los cuales se concluye que:

- a) En esta condición de funcionamiento que es la aceleración y pendiente, la energía mecánica que acciona a la transmisión mecánica, proviene del motor de combustión interna y del motor eléctrico; a diferencia de la condición de funcionamiento de velocidad de crucero, el accionamiento del motor eléctrico se da por la intensidad de corriente eléctrica que proviene del generador eléctrico y del banco de baterías.
- b) El Motor eléctrico, tiene dos fuentes de suministro de energía eléctrica para su accionamiento; la primera que viene del generador eléctrico del vehículo, el cual es movido por el motor de combustión interna, y la segunda fuente de suministro de energía eléctrica es la del banco de baterías.
- c) El torque mecánico del motor de combustión interna y la velocidad del vehículo tienen una relación no lineal presentando un punto de inflexión, es decir que existe un valor de velocidad en el cual el torque es máximo, para luego a pesar de que la velocidad del vehículo se incrementa, el toque mecánico del motor de combustión interna disminuye.
- d) El torque mecánico del motor eléctrico y la intensidad de corriente que ingresa al motor eléctrico, tienen una relación no lineal con el valor de la velocidad del vehículo.
- e) Se estableció mediante el modelo de regresión no lineal, utilizando los datos que se tomaron del registro de funcionamiento del funcionamiento del vehículo, a la condición de funcionamiento de aceleración y pendiente.

Tabla 32 Relación numérico a condición de Aceleración y Pendiente

Vehículo de Prueba	Relación Numérica	Coficiente de determinación
Vehículo 1	$T_m = -0.0476v^2 + 8.274v - 228.9$	0.9903
	$T_E = 0.008v^2 - 1.0522v + 99.176$	0.9611
	$I_{ME} = 0.0047v^2 - 0.4545v + 64.61$	0.9949
Vehículo 2	$T_m = -0.0546v^2 + 9.3118v - 266.65$	0.9949
	$T_E = 0.0049v^2 - 0.4996v + 76.973$	0.9939
	$I_{ME} = 0.0028v^2 - 0.122v + 49.524$	0.9966
Vehículo 3	$T_m = -0.0424v^2 + 7.681v - 213.45$	0.997
	$T_E = 0.0025v^2 - 0.129v + 66.429$	0.9943
	$IME = 0.0013v^2 + 0.0418v + 50.113$	0.9701

Fuente: Elaboración Propia

- j) En el funcionamiento del motor de combustión interna, éste entregó un torque mínimo promedio de 89.1 N.m, el cual se dio a una velocidad promedio de 57.7 km/h y un torque máximo promedio de 133 N.m, el cual se dio a una velocidad promedio de 87.1 km/h; esta variación de torque mecánico del motor de combustión interna tuvo un incremento no lineal con respecto a la velocidad del vehículo.

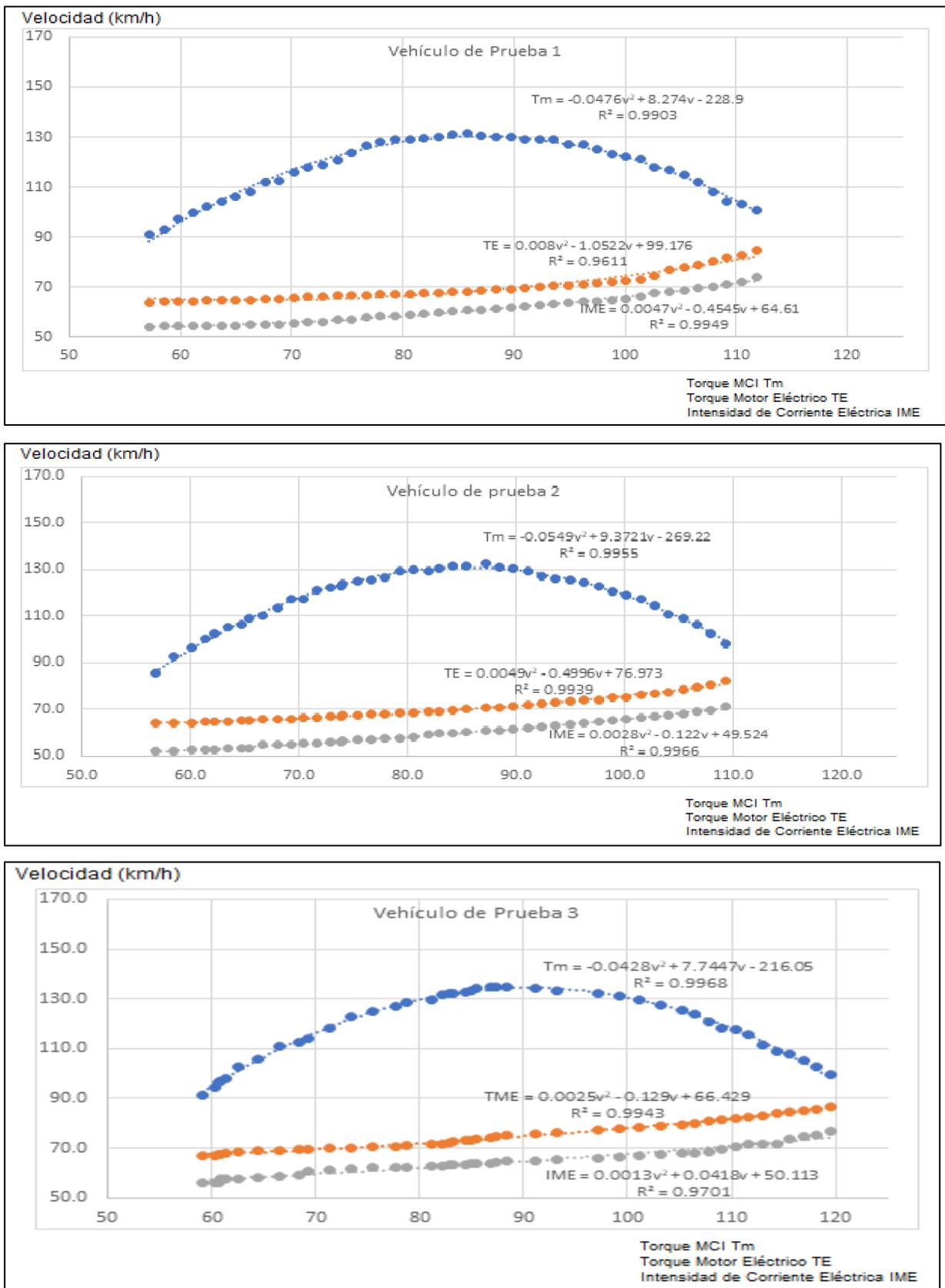


Figura 35. Modelamiento numérico para Condición de funcionamiento:  
Aceleración y Pendiente

Fuente: Elaboración Propia.

- k) Para el análisis de la velocidad del vehículo híbrido en función a la combinación del torque que sale de la transmisión mecánica para el accionamiento de las ruedas, en esta condición de funcionamiento de Aceleración y Pendiente, se estableció la influencia del torque del motor de combustión interna y del torque del motor eléctrico; para lo cual se hizo una modelación teniendo como variables independientes a  $T_m$ , y  $T_E$ , y como variable dependiente la velocidad del vehículo híbrido. Se utilizó la metodología de regresión no lineal múltiple.

Tabla 33. Regresión no lineal velocidad con torque de MCI y Torque motor eléctrico, condición de aceleración y pendiente

Vehículo de Prueba	Relación Numérica	Coefficiente de correlación múltiple
Vehículo 1	$v = -1328 + 0.46T_m + 35.91T_E + 0.0063T_m^2 - 0.027 T_m \cdot T_E - 0.206T_E^2$	0.984
Vehículo 2	$v = -543.2 + 0.33T_m + 13.84T_E - 0.0022T_m^2 + 0.0043T_m \cdot T_E - 0.078T_E^2$	0.997
Vehículo 3	$v = 1359.86 - 0.784T_m - 36.84T_E - 0.0068T_m^2 + 0.041T_m \cdot T_E + 0.23T_E^2$	0.997

Fuente: Elaboración Propia.

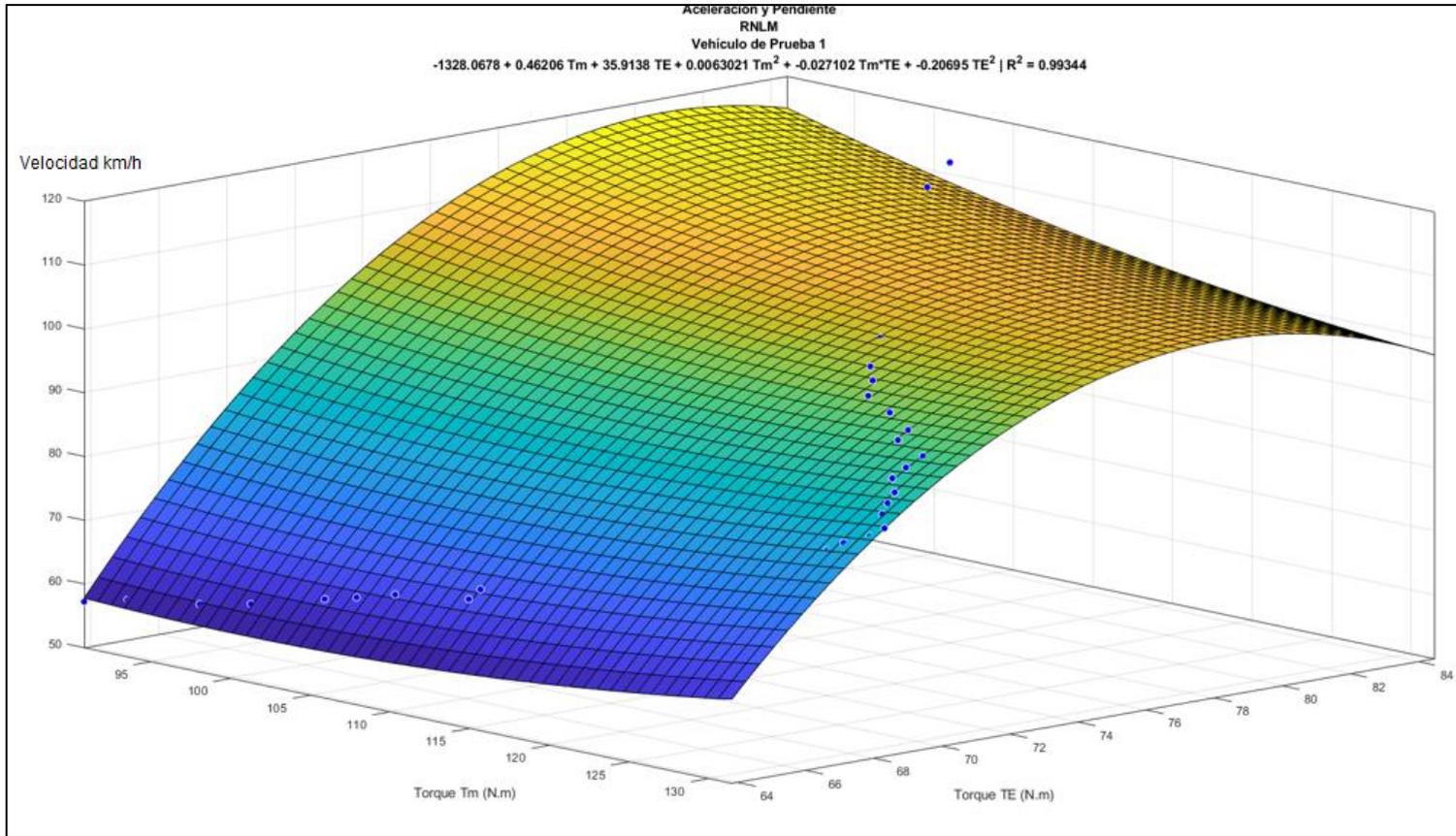


Figura 36. Modelamiento Numérico de Velocidad de vehículo y torque de MCI y Torque Motor eléctrico. Condición Aceleración y Pendiente vehículo 1.

Fuente: Elaboración Propia.

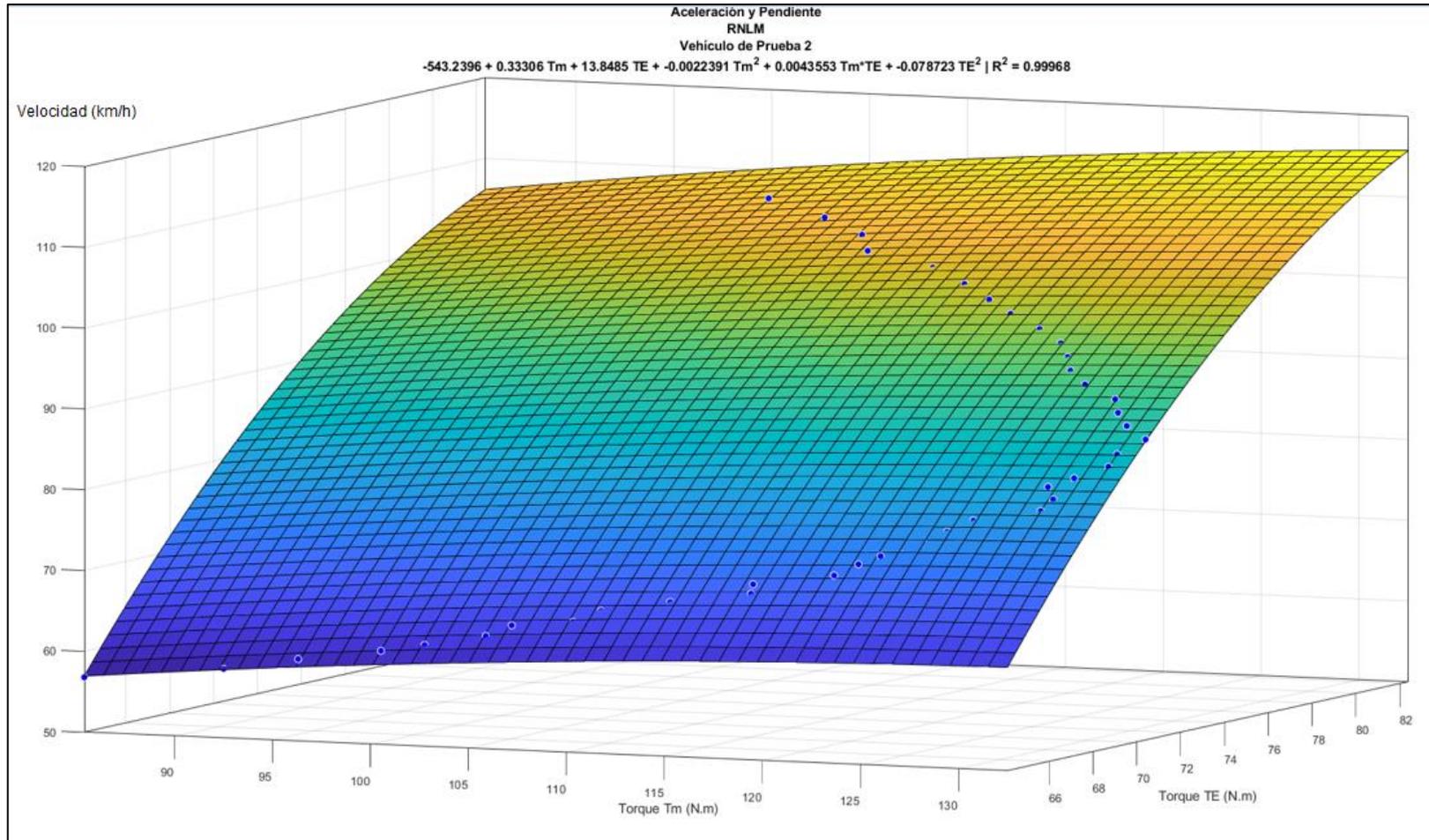


Figura 37. Modelamiento Numérico de Velocidad de vehículo y torque de MCI y Torque Motor eléctrico. Condición Aceleración y Pendiente vehículo 2

Fuente: Elaboración Propia.

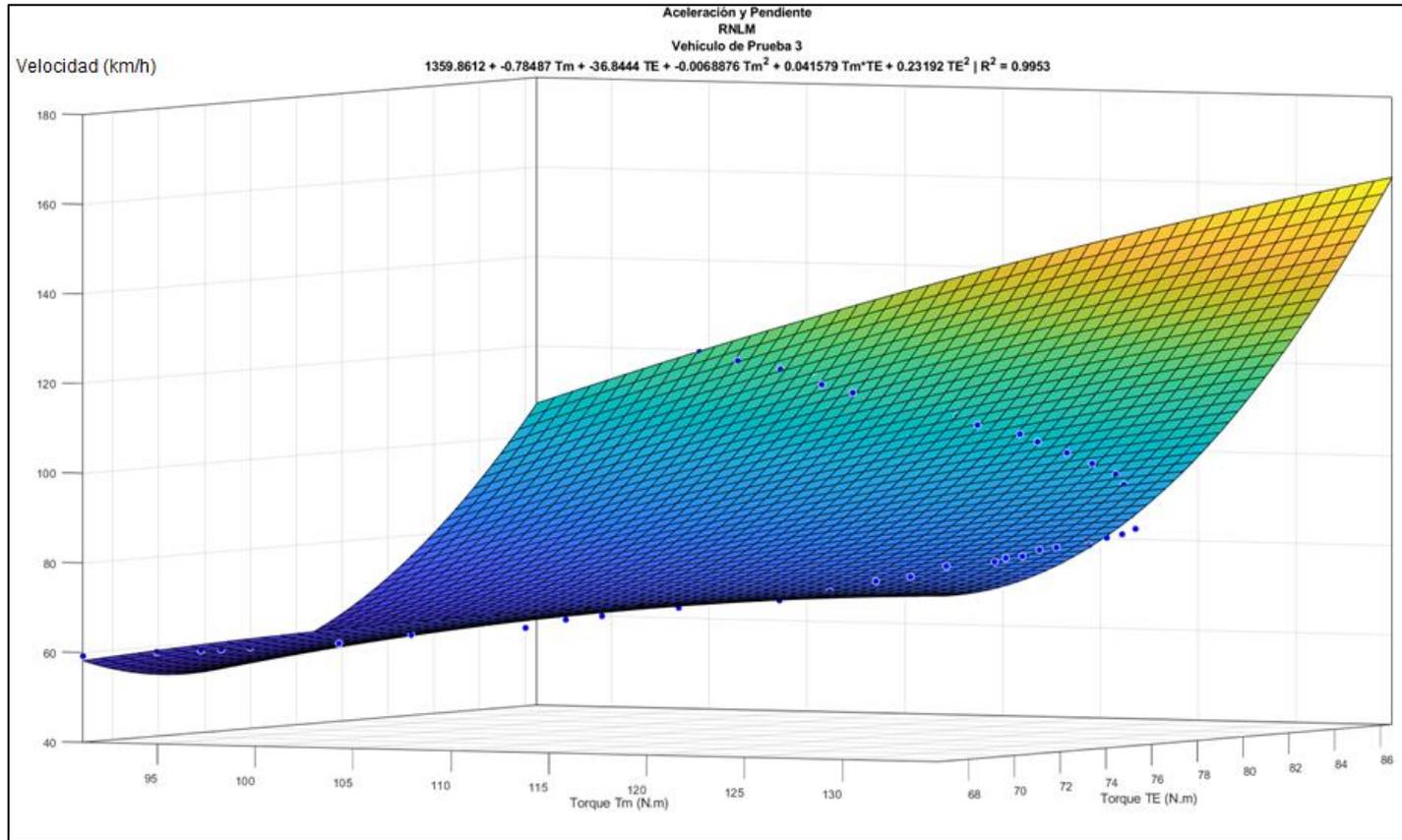


Figura 38. Modelamiento Numérico de Velocidad de vehículo y torque de MCI y Torque Motor eléctrico. Condición Aceleración y Pendiente vehículo 3

Fuente: Elaboración Propia.

### Condición de funcionamiento: Deceleración o frenado regenerativo.

En la figura 39, se muestra los resultados de la variación de la Intensidad de corriente eléctrica que ingresa al motor eléctrico MG2, actuando como generador ( $I_g$ ), en función a la variación de velocidad de los 3 vehículos de prueba, en los cuales se concluye que:

- En esta condición de funcionamiento que es la Deceleración o frenado regenerativo, parte de la energía cinética del vehículo se transforma en energía eléctrica en el freno regenerativo.
- El motor eléctrico del vehículo híbrido funciona como “generador eléctrico”, generando una intensidad de corriente eléctrica alterna que va hacia la batería, previa conversión de corriente alterna en continua y nivel de tensión en el inversor, el cual opera como rectificador de la energía eléctrica. La intensidad de corriente eléctrica que “genera” el motor eléctrico, tiene una relación no lineal, cuadrática y decreciente con respecto a la velocidad del vehículo híbrido.
- Se estableció mediante el modelo de regresión no lineal, utilizando los datos que se tomaron del registro de funcionamiento del funcionamiento del vehículo, a la condición de funcionamiento de Deceleración o frenado regenerativo

Tabla 34 Relación numérica Deceleración o frenado regenerativo

Vehículo de Prueba	Relación Numérica	Coefficiente de determinación
Vehículo 1	$I_g = 0.0026v^2 - 0.1213v + 0.8351$	0.9905
Vehículo 2	$I_g = 0.0026v^2 - 0.1288v + 0.6416$	0.9866
Vehículo 3	$I_g = 0.0023v^2 - 0.0622v - 0.0747$	0.9866

Fuente: Elaboración Propia.

- d) En el funcionamiento del motor eléctrico como “generador”, el mínimo promedio de intensidad de corriente eléctrica fue de 26.3 A, el cual se dio cuando empezó la desaceleración del vehículo híbrido con velocidad promedio de 121.8 km/h.
- e) El flujo de energía en esta condición de funcionamiento de Deceleración o frenado regenerativo, no tiene consumo de combustible del vehículo.

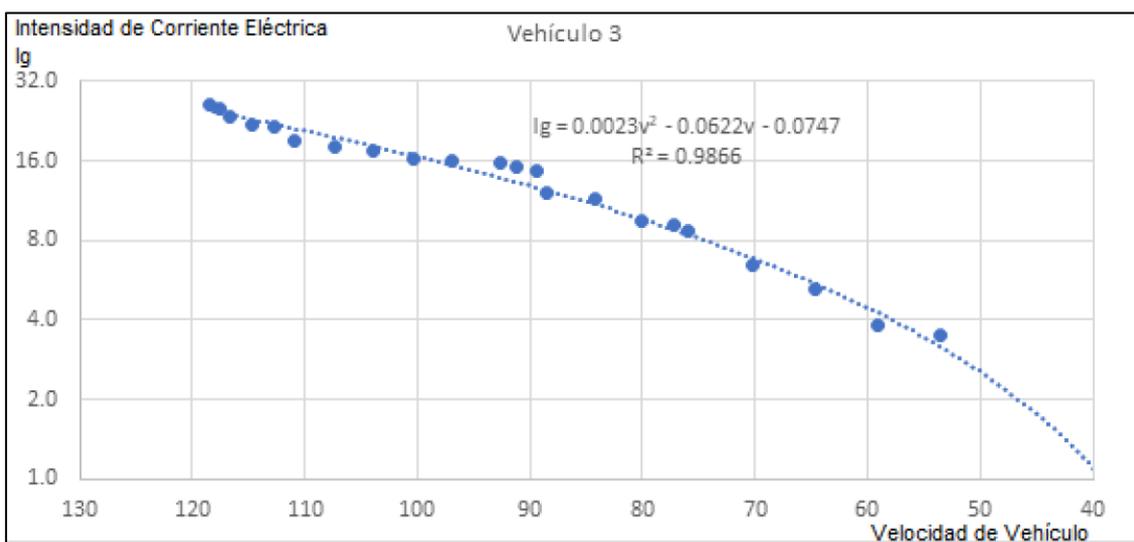
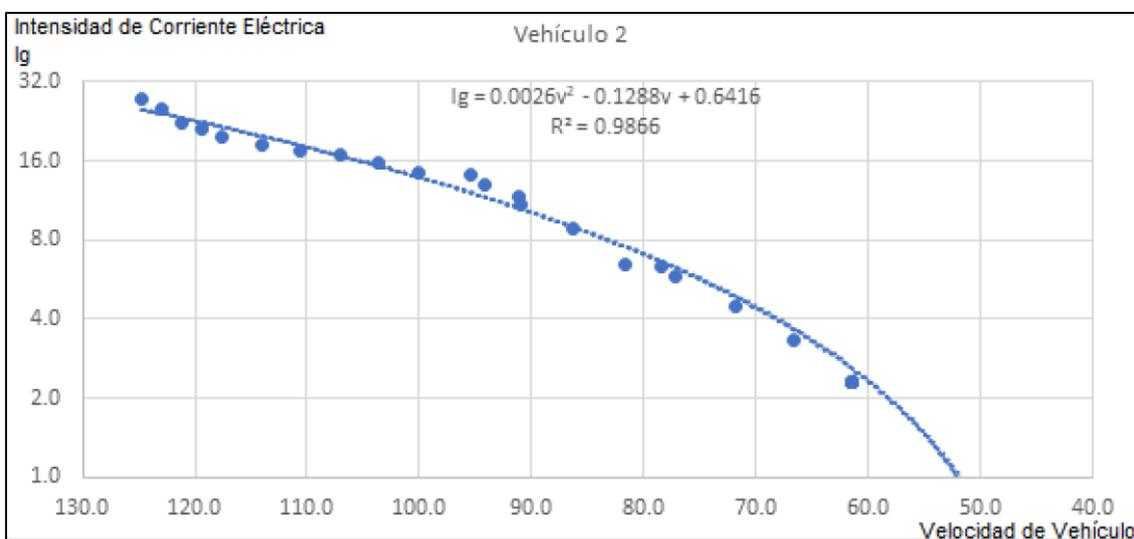
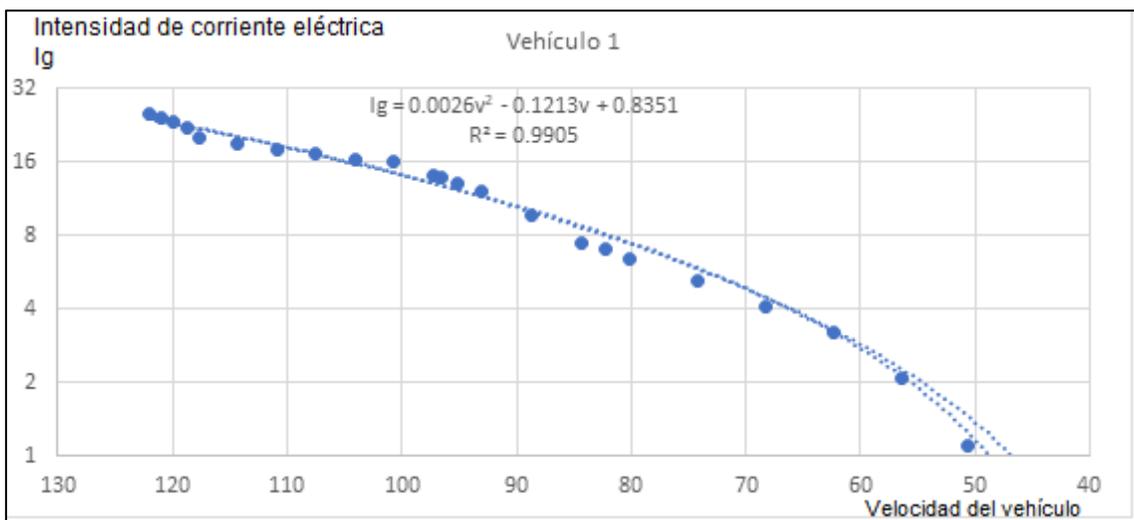


Figura 39. Modelamiento numérico para Condición de funcionamiento:  
Deceleración o frenado regenerativo

Fuente: Elaboración Propia.

#### **4.2.2. Tendencia del Grado de Hibridación HV**

Se tuvo acceso a la información del registro de los tiempos de funcionamiento del motor de combustión interna y del motor eléctrico, y con ello se determinó el grado de hibridación, como la relación porcentual del tiempo de funcionamiento del motor eléctrico en función al tiempo de funcionamiento total. El instante de cambio de fuente de suministro de energía mecánica al vehículo híbrido, se visualiza en tiempo real en el tablero de instrumentos de la unidad.

Tabla 35 Registro de Grado de Hibridación

1/3

Vehículo de Prueba 1		Vehículo de Prueba 2		Vehículo de Prueba 3	
Velocidad v (km/h)	Grado de Hibridación HV %	Velocidad (km/h)	Grado de Hibridación HV %	Velocidad (km/h)	Grado de Hibridación HV %
0	100	0	100	0	100
1	100	1	100	1	100
2	100	2	100	2	100
3	100	3	100	3	100
4	100	4	100	4	100
5	100	5	100	5	100
6	100	6	100	6	100
7	100	7	100	7	100
8	100	8	100	8	100
9	100	9	100	9	100
10	100	10	100	10	100
11	100	11	100	11	100
12	100	12	100	12	100
13	100	13	100	13	100
14	84	14	100	14	100
15	86	15	100	15	100
16	88	16	86	16	100
17	84	17	86	17	81
18	85	18	86	18	85
19	85	19	86	19	83
20	83	20	87	20	81
21	81	21	84	21	82
22	82	22	81	22	82
23	81	23	81	23	83
24	82	24	79	24	80
25	81	25	78	25	78
26	80	26	77	26	78
27	78	27	76	27	78
28	78	28	76	28	75
29	78	29	76	29	75
30	76	30	76	30	75
31	74	31	73	31	75
32	74	32	73	32	75
33	73	33	73	33	75
34	73	34	71	34	75
35	73	35	71	35	75
36	68	36	71	36	74
37	66	37	69	37	74
38	66	38	69	38	73
39	62	39	69	39	71
40	60	40	65	40	71
41	59	41	65	41	71
42	59	42	65	42	71
43	59	43	64	43	69

Velocidad v (km/h)	Grado de Hibridación HV %	Velocidad (km/h)	Grado de Hibridación HV %	Velocidad (km/h)	Grado de Hibridación HV %
44	60	44	63	44	69
45	60	45	62	45	64
46	61	46	57	46	64
47	58	47	57	47	65
48	56	48	57	48	65
49	56	49	54	49	61
50	55	50	54	50	59
51	55	51	54	51	56
52	56	52	53	52	57
53	56	53	53	53	56
54	54	54	53	54	56
55	54	55	53	55	56
56	54	56	53	56	52
57	55	57	53	57	52
58	51	58	51	58	52
59	51	59	51	59	50
60	50	60	51	60	50
61	48	61	50	61	48
62	48	62	47	62	48
63	48	63	47	63	48
64	48	64	47	64	49
65	48	65	47	65	49
66	46	66	45	66	47
67	46	67	45	67	47
68	46	68	45	68	47
69	46	69	45	69	46
70	45	70	46	70	47
71	42	71	46	71	44
72	42	72	43	72	44
73	42	73	42	73	44
74	42	74	42	74	42
75	42	75	42	75	42
76	42	76	41	76	41
77	42	77	40	77	41
78	41	78	38	78	43
79	41	79	37	79	42
80	40	80	38	80	39
81	39	81	38	81	38
82	39	82	36	82	38
83	39	83	35	83	38
84	39	84	36	84	38
85	39	85	35	85	39
86	37	86	34	86	37
87	37	87	37	87	35
88	37	88	33	88	35
89	37	89	32	89	36

Velocidad v (km/h)	Grado de Hibridación HV %	Velocidad (km/h)	Grado de Hibridación HV %	Velocidad (km/h)	Grado de Hibridación HV %
90	37	90	31	90	36
91	37	91	32	91	34
92	34	92	32	92	34
93	34	93	31	93	34
94	34	94	31	94	32
95	34	95	29	95	32
96	34	96	30	96	32
97	32	97	28	97	33
98	32	98	27	98	29
99	32	99	27	99	29
100	30	100	25	100	27
101	31	101	26	101	28
102	31	102	26	102	28
103	28	103	25	103	26
104	28	104	24	104	26
105	24	105	24	105	25
106	24	106	24	106	25
107	24	107	23	107	25
108	22	108	23	108	26
109	22	109	21	109	24
110	20	110	18	110	23
111	11	111	18	111	13
112	11	112	18	112	5
113	12	113	12	113	0
114	10	114	11	114	0
115	9	115	10	115	0
116	0	116	7	116	0
117	0	117	0	117	0
118	0	118	0	118	0
119	0	119	0	119	0
120	0	120	0	120	0

Fuente: Mediciones realizadas

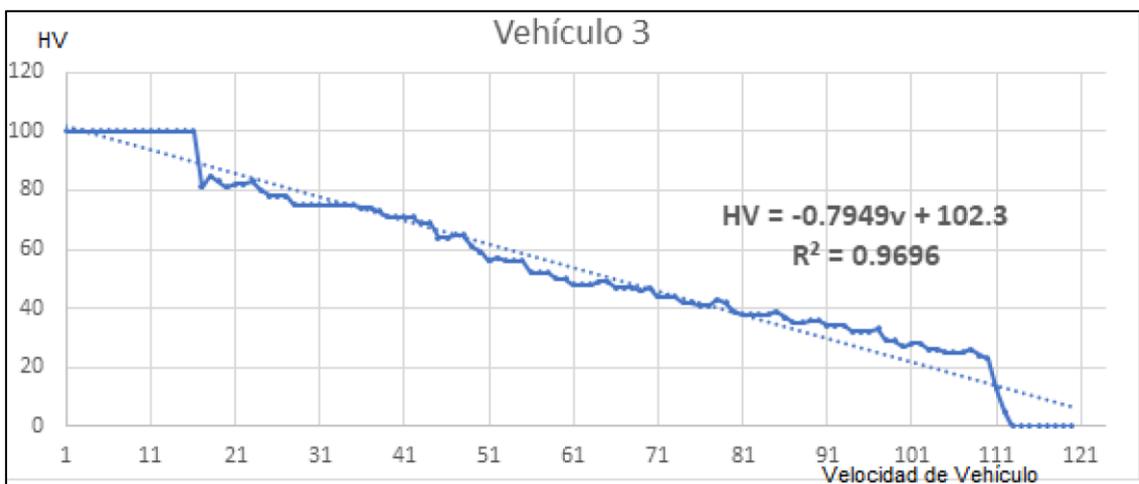
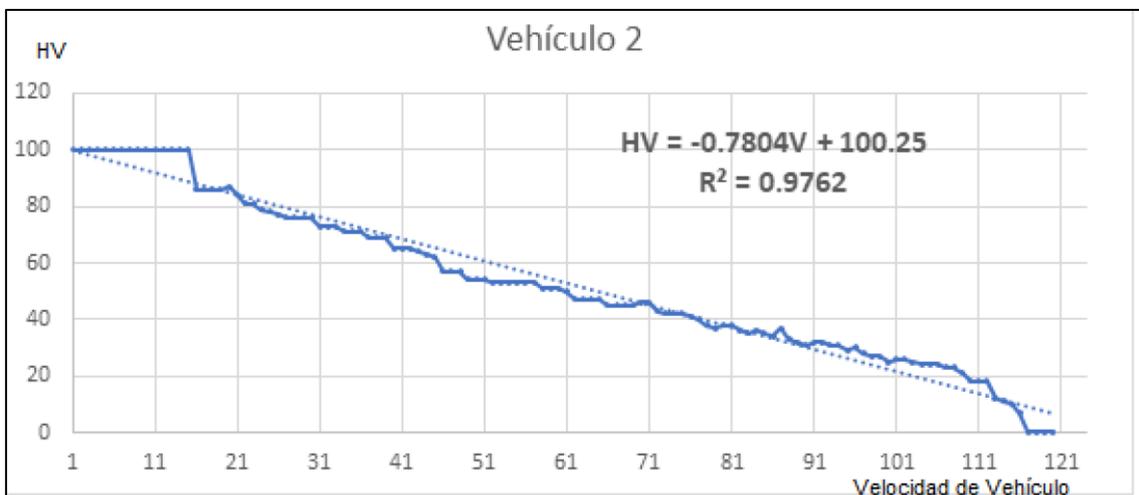
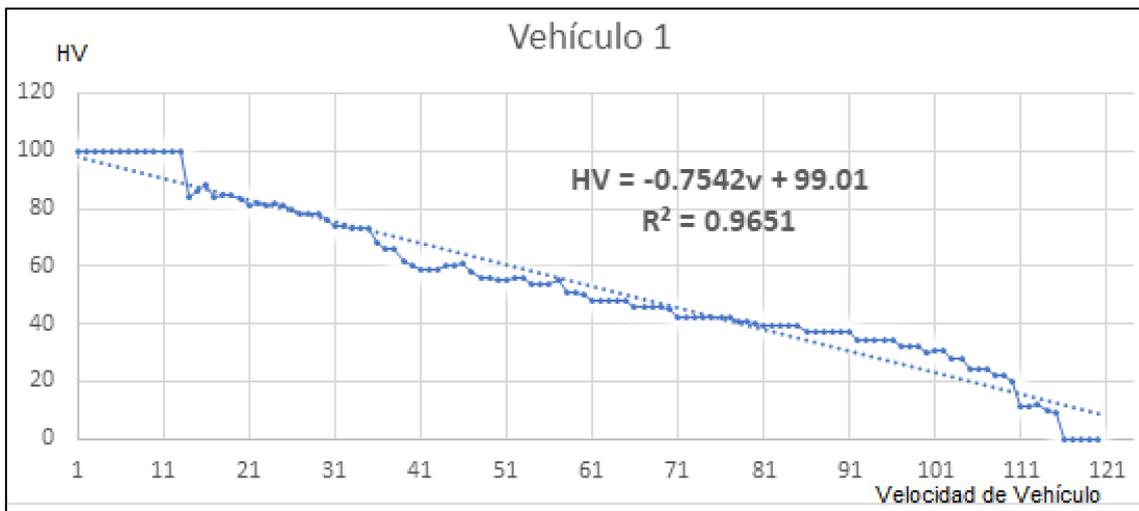


Figura 40 Modelamiento numérico de grado de hibridación

Fuente: Elaboración Propia.

La tendencia del grado de hibridación HV con respecto a la velocidad del vehículo híbrido, es lineal decreciente, es decir con esa relación, se tiene un mayor grado de hibridación a medida que la velocidad del vehículo se incrementa. La pendiente de la línea de tendencia decreciente en los 3 vehículos de prueba tuvo un promedio de 77.65%, ello determinó el tiempo de funcionamiento del motor eléctrico frente al tiempo total; es un indicador que nos indica el tiempo de funcionamiento, pero no la cantidad de energía que aportó al vehículo híbrido.

#### **4.3. Modelización del consumo específico de combustible.**

##### **4.3.1. Consumo específico de combustible.**

En las mediciones realizadas, se evidenció que los arranques de los vehículos híbridos de prueba, lo hacen solo con el aporte de energía mecánica del motor eléctrico; los valores promedios de velocidad del vehículo hasta que se active el motor de combustión interna son de 21.7 km/h; a partir de dicha velocidad del vehículo, empieza el consumo de combustible, y será de acuerdo a la condición de funcionamiento en la que se encuentre el vehículo.

Utilizando el modelo de regresión no lineal, se determinó las relaciones entre la variable de consumo de combustible y velocidad del vehículo híbrido

##### **Condición de Funcionamiento: Velocidad de crucero**

En la figura 41, se muestra los resultados consumo de combustible expresados en mililitros de gasohol por kilómetro recorrido (ml/km), en función a la variación de velocidad de los 3 vehículos de prueba.

Tabla 36 Relación numérica de consumo de combustible a velocidad crucero

Vehículo de Prueba	Relación Numérica	Coefficiente de determinación
Vehículo 1	$Q = -0.002v^2 + 0.0649v + 41.749$	0.9937
Vehículo 2	$Q = -0.0027v^2 + 0.1042v + 42.125$	0.9912
Vehículo 3	$Q = -0.0034v^2 + 0.1768v + 37.751$	0.9927

Fuente: Elaboración Propia.

Se concluye que:

- El consumo específico de combustible para esta condición de funcionamiento decrece a medida que se incrementa la velocidad del vehículo híbrido; el aporte de energía mecánica para el accionamiento de la transmisión mecánica es de los 2 motores; en el caso del aporte de energía mecánica del motor eléctrico, en esta condición sólo utiliza la energía eléctrica que proviene del generador MG1.
- Las ecuaciones cuadráticas decrecientes, no presentan valores mínimos, es decir puntos de inflexión dentro del rango de velocidad de esta condición de funcionamiento. Lo anteriormente mencionado, se verifica haciendo que la recta pendiente a la curva tenga pendiente cero, es decir igualando la primera derivada de la función igual a cero. Se obtuvieron los siguientes resultados:

**Vehículo 1:** Relación Numérica consumo de combustible -Velocidad de vehículo

$$Q = -0.002v^2 + 0.0649v + 41.749$$

$$\frac{\delta Q}{\delta v} = -0.004v + 0.0649 = 0$$

$v = 16.22$  km/h, valor que está fuera del rango de la velocidad crucero del vehículo 1, que es de 31.2 a 51.4 km/h.

**Vehículo 2:** Relación Numérica consumo de combustible -Velocidad de vehículo.

$$Q = -0.0027v^2 + 0.1042v + 42.125$$

$$\frac{\delta Q}{\delta v} = -0.004v + 0.0649 = 0$$

$v = 19.29$  km/h, valor que está fuera del rango de la velocidad crucero que es de 29.8 a 50.1 km/h.

**Vehículo 3:** Relación Numérica consumo de combustible -Velocidad de vehículo.

$$Q = -0.0034v^2 + 0.1768v + 37.751$$

$$\frac{\delta Q}{\delta v} = -0.0068v + 0.1768 = 0$$

$v = 26$  km/h, valor que está fuera del rango de la velocidad crucero que es de 27.7 a 49.8 km/h

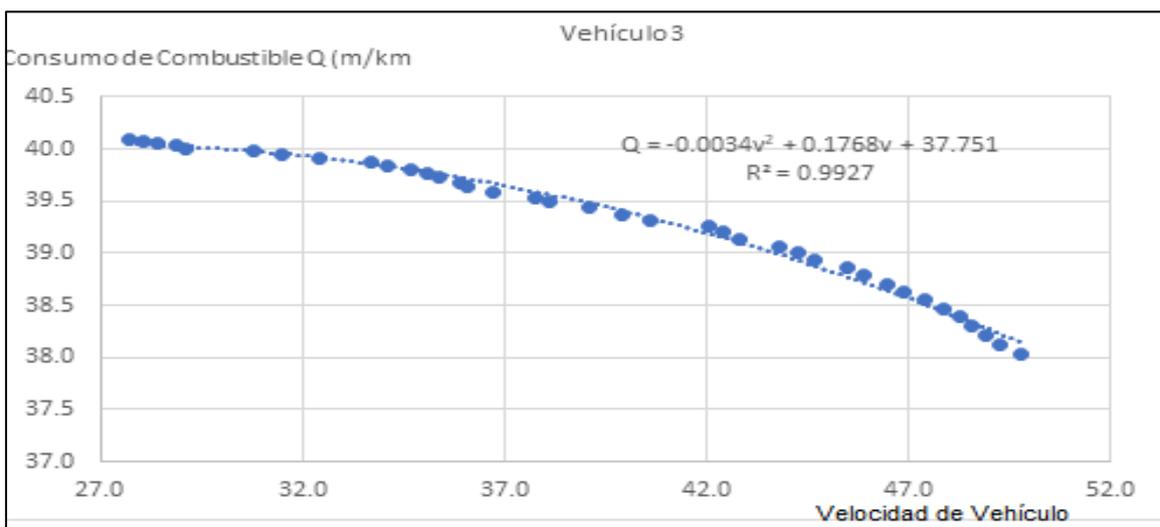
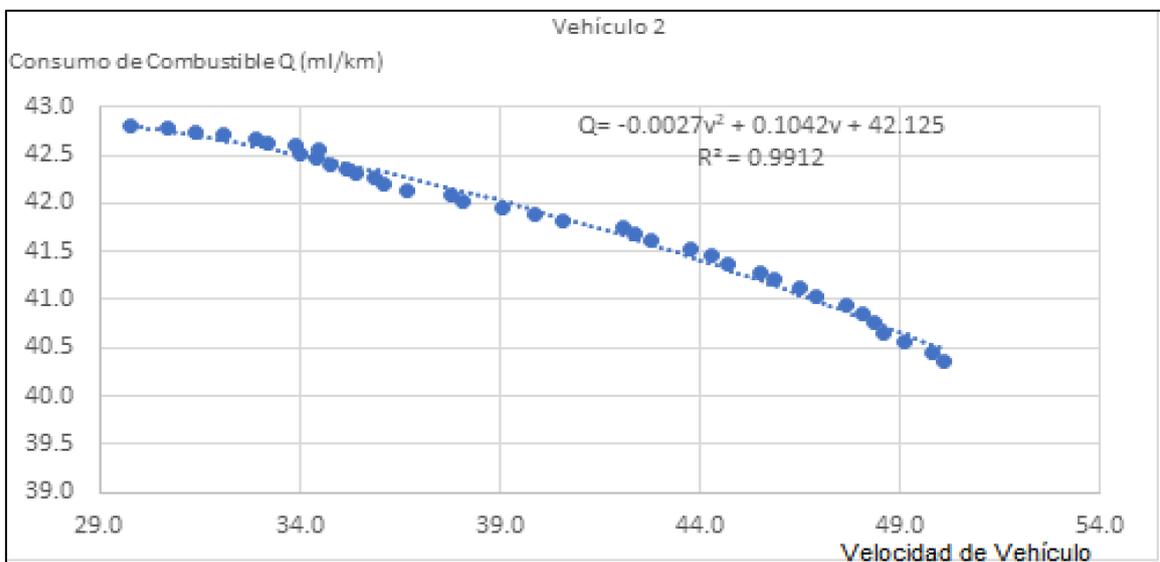
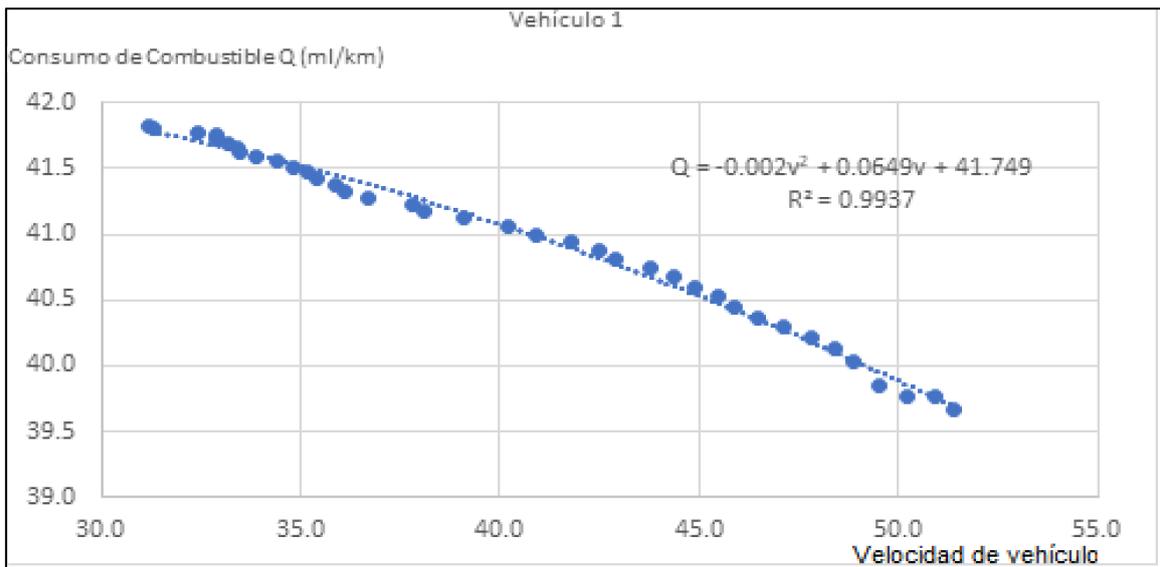


Figura 41. Modelamiento Numérico: Consumo específico de combustible a velocidad crucero, vehículo 1.

Fuente: Elaboración Propia.

### Condición de Funcionamiento: Aceleración y Pendiente

En la figura 42, se muestra los resultados consumo de combustible expresados en mililitros de gasohol por kilómetro recorrido (ml/km), en función a la variación de velocidad de los 3 vehículos de prueba, para ésta condición de funcionamiento. Se pudo determinar que existe un valor de inflexión de la tendencia de los valores de consumo específico de combustible.

Tabla 37 Relación numérica consumo de combustible en aceleración pendiente

Vehículo de Prueba	Relación Numérica	Coefficiente de determinación
Vehículo 1	$Q = 0.0059v^2 - 1.0801v + 86.047$	0.9832
Vehículo 2	$Q = 0.0038v^2 - 0.7133v + 73.012$	0.9609
Vehículo 3	$Q = 0.0029v^2 - 0.5763v + 67.065$	0.9852

Fuente: Elaboración Propia.

- a) El consumo específico de combustible para esta condición de funcionamiento decrece a medida que se incrementa la velocidad del vehículo híbrido; el aporte de energía mecánica para el accionamiento de la transmisión mecánica es de los 2 motores; en el caso del aporte de energía mecánica del motor eléctrico, en esta condición utiliza la energía eléctrica que proviene del generador MG1 y de la energía eléctrica que proviene de la batería.
- b) Las ecuaciones cuadráticas decrecientes, presentan valores mínimos, es decir tienen puntos de inflexión dentro del rango de velocidad de esta condición de funcionamiento. Lo anteriormente mencionado, se verifica haciendo que la recta pendiente a la curva sea cero, es decir igualando la primera derivada de la función igual a cero.

$$\text{Función: } Q = 0.0059v^2 - 1.0801v + 86.047$$

$$\text{Derivada de la función } Q \text{ con respecto a } v: 0.0118v - 1.08 = 0$$

$v = 91.52$  km/h, valor que está dentro del rango de la velocidad crucero que es de 57.2 a 111.8 km/h.

Reemplazando el valor hallado de  $v$  en la expresión de  $Q$ , se tiene:

$$Q = 0.0059 * 91.52^2 - 1.081 * 91.52 + 86.047 = 36.53 \frac{ml}{km},$$

Función:  $Q = 0.0038v^2 - 0.7133v + 73.012$

Derivada de la función  $Q$  con respecto a  $v$ :  $-0.0076v + 0.7133 = 0$

$v = 93.85$  km/h, valor que está dentro del rango de la velocidad crucero que es de 56.8 a 109.3 km/h.

Reemplazando el valor hallado de  $v$  en la expresión de  $Q$ , se tiene:

$$Q = 0.0038 * 93.85^2 - 0.7133 * 93.85 + 73.012 = 39.53 \frac{ml}{km},$$

Función:  $Q = 0.0029v^2 - 0.5763v + 67.065$

Derivada de la función  $Q$  con respecto a  $v$ :  $0.0058v - 0.5763 = 0$

$v = 99.36$  km/h, valor que está dentro del rango de la velocidad crucero que es de 59.2 a 119.5 km/h

Reemplazando el valor hallado de  $v$  en la expresión de  $Q$ , se tiene:

$$Q = 0.0029 * 99.36^2 - 0.5763 * 99.36 + 67.065 = 38.43 \frac{ml}{km},$$

Los valores mínimos encontrados en cada uno de los vehículos de pruebas, tienen un promedio de consumo específico de combustible de 38.16 ml/km, a una velocidad promedio de 94.91 km/h.

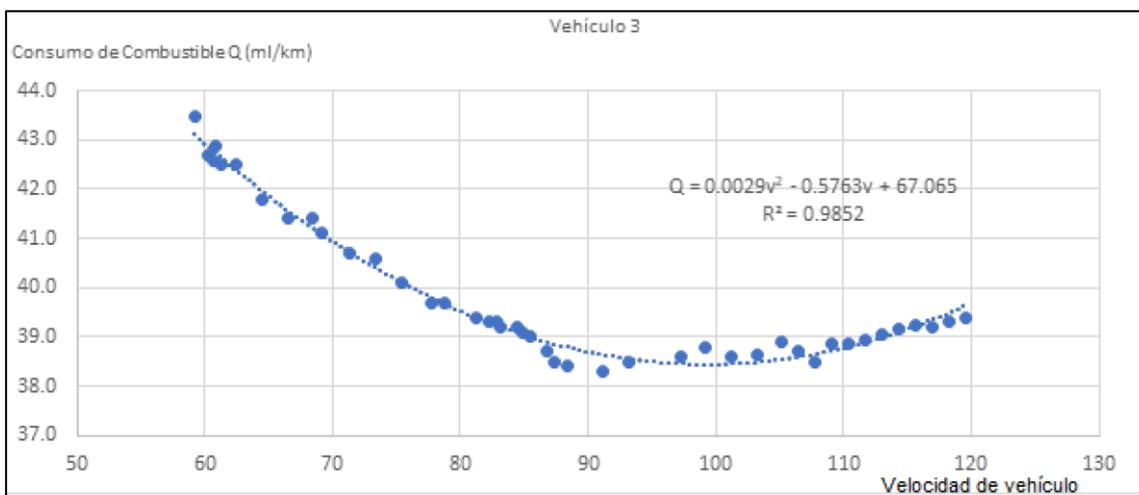
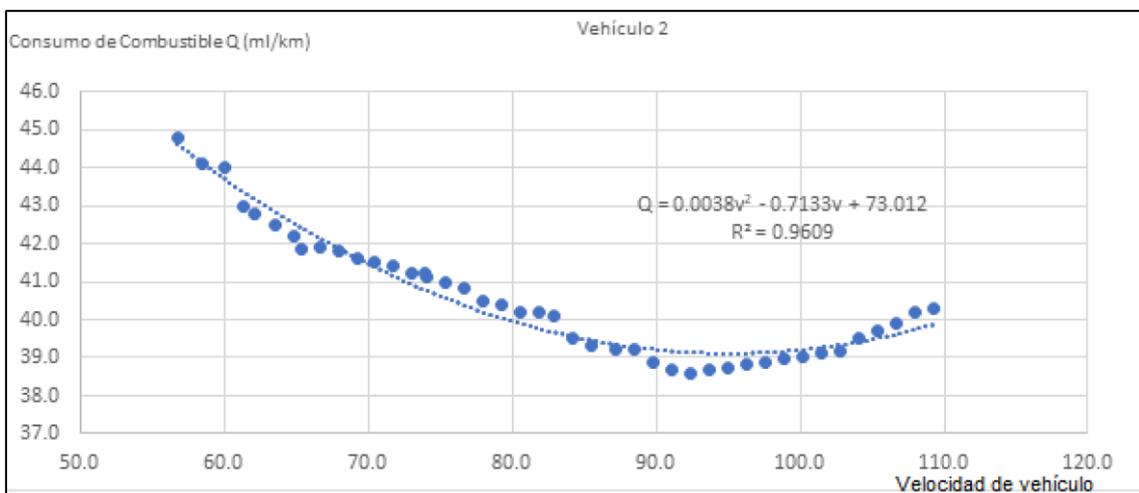
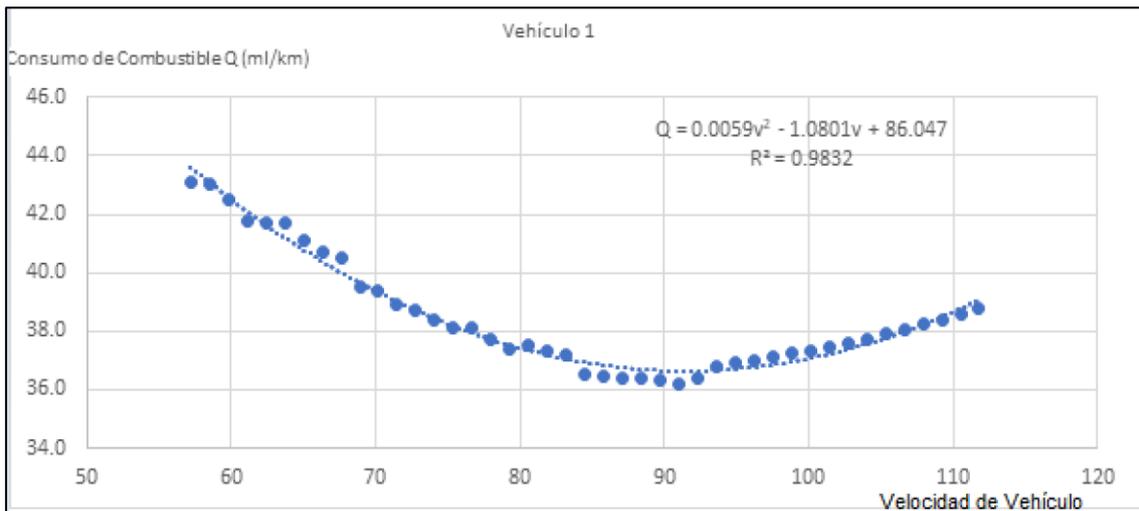


Figura 42. Modelamiento Numérico: Consumo específico de combustible a velocidad crucero.

Fuente: Elaboración Propia.

#### **4.3.2. Aporte de energía mecánica de los motores de combustión interna y motor eléctrico.**

El aporte de energía mecánica por parte de los motores de combustión interna y motor eléctrico para el accionamiento del vehículo híbrido, es el resultado del análisis de la modelización numérica en función al torque que recibe el sistema de transmisión. Para lo cual, con los resultados de las relaciones numéricas entre el consumo de combustible y la velocidad del vehículo híbrido y las relaciones de la velocidad de vehículo con los torques de los motores, se realizó una modelización numérica; y con ello se determinó los valores promedios del torque del motor de combustión interna y el torque del motor eléctrico de los vehículos de pruebas que tengan menor consumo específico de combustible.

La función de  $v(T_m, T_E)$ , relaciona la interacción de los torques del motor de combustión interna y del motor eléctrico, la cual fue modelizada con el método de regresión lineal múltiple, y la función  $Q(v)$  fue la modelización entre el consumo específico de combustible y la velocidad del vehículo híbrido. El análisis se hizo para las condiciones en el cual se tiene consumo de combustible en el motor de combustión interna, y fue en la condición de funcionamiento de velocidad de crucero y de aceleración y pendiente.

### Condición de Funcionamiento: Velocidad de Crucero.

Tabla 38 Relaciones de velocidad, consumo y torques de MCI y Motor Eléctrico

Vehículo de Prueba	Relación Velocidad (v) – Torque de M.C.I ( $T_m$ ) y Torque Motor Eléctrico ( $T_E$ )	Relación Consumo Especifico de Combustible (Q) – Velocidad (v)
Vehículo 1	$v = -19868.58 - 8.96T_m + 652.25T_E - 0.00666T_m^2 + 0.16T_m.T_E - 5.35T_E^2$	$Q = -0.002v^2 + 0.0649v + 41.749$
Vehículo 2	$v = -1560.8 + 18.03T_m + 26.27T_E - 0.0058T_m^2 - 0.306T_m.T_E + 0.0046T_E^2$	$Q = -0.0027v^2 + 0.1042v + 42.12$
Vehículo 3	$v = -22440.6 + 11.4T_m + 711.3T_E - 0.00099T_m^2 - 0.17T_m.T_E - 5.63T_E^2$	$Q = -0.0034v^2 + 0.1768v + 37.75$

Fuente: Elaboración Propia.

Sustituyendo el valor de la velocidad en la relación de consumo específico de combustible, se obtienen las relaciones numéricas con respecto al aporte del torque  $T_m$  del MCI y del  $T_E$  del motor eléctrico. Se hace el análisis de la sustitución:

La expresión del consumo específico es de la forma

$$Q = av^2 + bv + c$$

La expresión de la velocidad es de la forma:

$$v = d + eT_m + fT_E + gT_m^2 + hT_m.T_E + kT_E^2; \text{ al sustituir } v \text{ en } Q, \text{ se tiene:}$$

Sustituyendo, se tiene:

$$\begin{aligned} Q = & agT_m^4 + ak^2T_E^4 + 2ageT_m^3 + 2akfT_E^3 + 2aghT_ET_m^3 + 2ahkT_mT_E^3 \\ & + (2agf + 2ahe)T_m^2T_E + (2afh + 2ake)T_mT_E^2 \\ & + (ah^2 + 2agk)T_m^2T_E^2 + (2aef + 2ahd + bh)T_mT_E \\ & + (ae^2 + 2agd + bg)T_m^2 + (af^2 + 2akd + bk)T_E^2 + (be + 2ade)T_m \\ & + (2adf + bf)T_E + (ad^2 + bd + c) \end{aligned}$$

Los coeficientes de las expresiones, se obtienen de la tabla 38.

Tabla 39. Coeficiente de relaciones numéricas

	Coeficientes para cálculo de Relación Q- (TE, Tm)		
	Vehículo 1	Vehículo 2	Vehículo 3
a	-0.002	-0.00027	-0.0034
b	0.0649	0.1042	0.1768
c	41.749	42.125	37.751
d	-19868.5837	-1560.8	-22440.6
e	-8.9622	18.03	11.4
f	652.2535	26.27	711.3
g	-0.0066139	-0.0058	-0.00099
h	0.16799	-0.306	-0.17
k	-5.3595	0.0046	-5.63

Fuente: Elaboración Propia

En esta condición de funcionamiento, la tendencia de los consumos específicos de combustible es decreciente, y en el punto en el cual cambia a la condición de funcionamiento de aceleración y pendiente, el promedio de la velocidad del vehículo híbrido fue de 50.4 km/h. el promedio del consumo específico de combustible fue de 39.4 ml /km, y el promedio de los torques mecánicos de los motores fue de 121.4 N.m del motor de combustión interna y de 62.5 N.m del motor eléctrico; es decir que el aporte del motor de combustión interna al accionamiento del vehículo híbrido es de 66.01% y del motor eléctrico es de 33.9%.

### Condición de Funcionamiento: Aceleración y Pendiente.

Tabla 40 Relaciones de velocidad, consumo y torques de MCI y Motor Eléctrico aceleración y pendiente

Vehículo de Prueba	Relación Velocidad (v) – Torque de M.C.I (Tm) y Torque Motor Eléctrico (T <sub>E</sub> )	Relación Consumo Especifico de Combustible (Q) – Velocidad (v)
Vehículo 1	$v = -1328 + 0.46Tm + 35.91T_E + 0.0063Tm^2 - 0.027Tm \cdot T_E - 0.206T_E^2$	$Q = 0.0059v^2 - 1.0801v + 86.047$
Vehículo 2	$v = -543.2 + 0.33Tm + 13.84T_E - 0.0022Tm^2 + 0.0043Tm \cdot T_E - 0.078T_E^2$	$Q = 0.0038v^2 - 0.7133v + 73.012$
Vehículo 3	$v = 1359.86 - 0.784Tm - 36.84T_E - 0.0068Tm^2 + 0.041Tm \cdot T_E + 0.23T_E^2$	$Q = 0.0029v^2 - 0.5763v + 67.065$

Fuente: Elaboración Propia

El promedio de los mínimos **consumos específicos de combustible** fue de 37.7 ml/km, con un valor promedio de velocidad de los 3 vehículos de prueba de 91.5 km/h. El promedio de los torques mecánicos de los motores en los puntos de menor consumo específico fue de 130.2 N.m del motor de combustión interna y de 72.6 N.m del motor eléctrico; es decir que el aporte del motor de combustión interna al accionamiento del vehículo híbrido es de 64.2% y del motor eléctrico es de 35.7%.

La expresión del consumo específico es de la forma

$$Q = av^2 + bv + c$$

La expresión de la velocidad es de la forma:

$$v = d + eTm + fT_E + gTm^2 + hTm \cdot T_E + kT_E^2; \text{ al sustituir } v \text{ en } Q, \text{ se tiene:}$$

Sustituyendo, se tiene:

$$\begin{aligned}
 Q = & agTm^4 + ak^2T_E^4 + 2ageTm^3 + 2akfT_E^3 + 2aghT_ETm^3 + 2ahkTmT_E^3 \\
 & + (2agf + 2ahe)Tm^2T_E + (2afh + 2ake)TmT_E^2 \\
 & + (ah^2 + 2agk)Tm^2T_E^2 + (2aef + 2ahd + bh)TmT_E \\
 & + (ae^2 + 2agd + bg)Tm^2 + (af^2 + 2akd + bk)T_E^2 + (be + 2ade)Tm \\
 & + (2adf + bf)T_E + (ad^2 + bd + c)
 \end{aligned}$$

Tabla 41. Coeficiente de relaciones numéricas

	Coeficientes para cálculo de Relación Q- (TE, Tm)		
	Vehículo 1	Vehículo 2	Vehículo 3
a	0.0059	0.0038	0.0029
b	-1.0801	-0.7133	-0.5763
c	86.047	73.012	67.065
d	-1328	-543.2	1359.86
e	0.46	0.33	-0.784
f	35.91	13.84	-36.84
g	0.0063	-0.0022	-0.0068
h	-0.027	0.0043	0.041
k	-0.206	-0.078	0.23

Tabla 42. Torque de Motor Eléctrico que minimiza consumo de combustible

Vehículo de Prueba	$T_E$ (N.m)
Vehículo 1	78.52
Vehículo 2	77.45
Vehículo 3	79.97

Fuente: Elaboración Propia

En relación numérica del consumo específico de combustible, el valor del aporte de torque del motor eléctrico que minimiza el consumo se hizo mediante el análisis de los puntos críticos, que consistió en hacer las derivadas parciales con

respecto a  $T_m$  y  $TE$ , e igualar dicho a cero; se obtuvieron los valores de aporte del torque de cada motor eléctrico de los vehículos híbrido de prueba; siendo:

De la tabla 41, se concluye que el aporte del torque del motor eléctrico hace posible un menor consumo de combustible, debido a que el motor de combustión interna del motor en esta condición de funcionamiento de aceleración y pendiente tiene sus valores máximos de entrega de torque mecánico, llegando a tener un valor máximo, de acuerdo a lo determinado en el ítem 4.3.1 que fue de 38.16 ml/km.

## CAPITULO IV: DISCUSIÓN.

La disyuntiva de las mejores perspectivas en el sector automotriz, entre un vehículo híbrido y un vehículo eléctrico, en este periodo de transición energética, está basado en la autonomía que presentan los vehículo eléctricos enchufables, por lo cual, la alternativa de la alternancia del accionamiento del vehículo con motor térmico y motor eléctrico, representa por hoy una ventaja del vehículo híbrido frente al eléctrico.

El análisis de la variación de los parámetros de funcionamiento de los motores de un vehículo híbrido, permitió determinar la influencia que tienen la entrega de energía mecánica por parte del motor de combustión interna y del motor eléctrico, para el accionamiento del sistema de transmisión, a diferentes condiciones de funcionamiento de la unidad.

La velocidad del vehículo híbrido, es el parámetro analizado y con ello se determinó como varían los torques del motor de combustión interna y del motor eléctrico, y las relaciones numéricas entre ellas, permitió conocer dicho comportamiento; siendo el objeto de estudio de la investigación la determinación de los flujos de energía; la energía mecánica del motor eléctrico, se extrajo de la energía mecánica del motor de combustión interna, previamente transformado en energía eléctrica y almacenado en forma de energía química para su posterior uso; este torque del motor eléctrico contribuye al accionamiento del vehículo, y con ello en el consumo de combustible.

Los modelos teóricos existentes para cada mecanismo, tienen relaciones definidas en cuánto a las variaciones de sus parámetros entre sí; para el caso del motor de combustión interna, la energía que ingresa es la del combustible en forma de energía térmica y que representa la única energía externa para el vehículo; la energía térmica está determinada por la eficiencia de la combustión en el interior del cilindro, y su valor tiene límites que dependen de factores como es el tipo de material del monoblock del motor, los tiempos de respuesta de los mecanismos del motor, el control electrónico, la forma de la conducción del vehículo, la calidad del combustible, las condiciones climatológicas.

La innovación de utilizar motores de combustión interna con el ciclo termodinámico de Atkinson, tal como lo planteó Édison Henao-Castañeda, como una alternativa para mejorar la eficiencia, y considera ello debido a que *“los ciclos con expansión prolongada se implementan con cierre de válvula de admisión temprana o tardía. El efecto primario de ello es una reducción de la temperatura al final de la carrera de compresión. La temperatura más baja permite el uso de relaciones de compresión geométrica más altas que producen una relación de expansión más larga y un aumento de eficiencia. Las válvulas de admisión se cierran después de que el pistón ha pasado el punto muerto inferior.* Dicha innovación del ciclo Atkinson es la que resulta más adecuada por lo fabricantes de motores de combustión interna para vehículos híbridos, a diferencia de los motores con ciclo Otto, es que los procesos termodinámicos permiten mayor adaptabilidad al ritmo de funcionamiento del motor en el vehículo híbrido.

En la investigación realizada, las condiciones de funcionamiento del vehículo híbrido, tienen marcada incidencia en cuanto a la relación de la oferta de energía mecánica generada por el motor de combustión interna y el motor eléctrico; y por el lado de la demanda, las solicitudes de energía mecánica del sistema de transmisión para el accionamiento de las ruedas. Los flujos de energía mecánica y eléctrica, se dan en función a la demanda de energía mecánica que requiere la transmisión; éstos flujos de energía son variables, sin embargo dentro de cada tipo de energía, existen parámetros que son los que tienen mayor variabilidad.

La energía mecánica tiene dos parámetros que le dan esa característica, y son el torque mecánico y la velocidad angular, y para la energía eléctrica es la tensión eléctrica y la intensidad de corriente eléctrica. La energía mecánica proveniente del motor de combustión interna, incrementa de manera no lineal el torque, sin embargo la velocidad de rotación lo hace de manera lineal; es por ello que para la investigación, el parámetro que tuvo más incidencia del motor de combustión interna fue el torque mecánico. En el caso del motor eléctrico, existe un valor estable y constante del nivel de tensión del motor eléctrico trifásico de corriente

alterna de 650 Voltios, y un valor variable que es la intensidad de corriente eléctrica, tanto para la operación en modo de motor eléctrico, así como para la operación de modo de generador eléctrico.

El análisis de los resultados, muestran una gran variabilidad de sus parámetros de funcionamiento. El arranque del vehículo híbrido accionado solo por el motor eléctrico, tienen entre sus ventajas que logra vencer la inercia de los mecanismos de transmisión mecánica, sin embargo es dónde se tiene la primera gran descarga electroquímica transitoria de la batería. En esta condición de funcionamiento, en el cual no hay consumo de combustible, incluye también al funcionamiento del vehículo a baja velocidad; el valor promedio de cambio de condición de funcionamiento fue de 21.7 km/h, una velocidad en el cual la circulación de la unidad es en transito alto, y hasta valor de velocidad el aporte de energía mecánica es el 100% del motor eléctrico, alcanzando valores promedios de hasta 31.6 N.m

Las condiciones de funcionamiento en el cual se hizo el seguimiento y comportamiento del flujo de energía, fue la de velocidad crucero y aceleración y pendiente; para el caso de la velocidad de crucero, el accionamiento del vehículo se hizo por el aporte de los dos motores, en el caso del motor eléctrico, recibió el suministro de energía eléctrica solo del generador eléctrico denominado MG1; y su valor de velocidad fue entre 29.5 y 50.43 km/h; en éste rango de variación de velocidad, el mayor aporte de energía mecánica es del motor de combustión interna; siendo el torque mecánico de éste motor el parámetro al cual se hizo el modelamiento en función a la velocidad de giro del vehículo. Este tuvo una relación no lineal cuadrática, y mediante el modelo de regresión no lineal, se establecieron las relaciones, teniendo en cuenta el rango de la velocidad, con un valor de coeficiente de determinación mayores al 93%.

En la programación computacional realizada, se estableció un nivel de comparación entre las curvas que mejor se aproximan a los datos de registro de vuelo del vehículo, se evaluó la línea de tendencia lineal, logarítmica, exponencial y polinómica de grado 2; siendo la que más se ajustó a la que tenía

mayor coeficiente de determinación. Las pendientes de las rectas tangentes a las curvas de tendencia, tienen valores que divergen en 3% aproximadamente.

Las solicitudes de mayor cantidad de energía mecánica por parte de la transmisión mecánica, requirió el suministro de energía mecánica del motor de combustión interna y del motor eléctrico; y para cubrir esta demanda energética, el motor eléctrico fue abastecido con energía eléctrica que en ese instante se generaba en el generador eléctrico MG1, como la energía electroquímica almacenada de la batería. La variación de los torques mecánicos en relación a la velocidad de giro, tuvieron un comportamiento no línea, y de igual forma el suministro de corriente eléctrica hacia el motor eléctrico; en ésta condición se evidenció que el torque del motor de combustión interna incrementó su valor medida que se incrementaba la velocidad, sin embargo la curva tuvo un punto de inflexión, en el cual se incrementaba la velocidad pero con menor valor del torque.

En el estudio realizado, la variación de los parámetros de operación y el cambio de condición de funcionamiento, estuvo también ligado al registro del consumo específico de combustible, la cual se tuvo acceso a dicho registro de los datos de vuelo del vehículo; y en el seguimiento de la tendencia del consumo, se estableció que el vehículo tiene un mayor consumo cuando funciona a velocidad de crucero, sin embargo decrece de manera no lineal con respecto a la velocidad del vehículo a medida que alcanza valores de 91.5 km/h, es dicho valor donde tiene menos consumo de combustible. Este valor de velocidad de vehículo es para una conducción en carretera, por lo cual, resulta muy ventajoso el uso de estos tipos de unidades vehiculares para el transporte interprovincial.

## CONCLUSIONES

Se hizo la toma de las mediciones de los parámetros de funcionamiento del motor de combustión interna y el motor eléctrico de los 3 vehículos de prueba de la misma marca, modelo y año de fabricación, en función a la velocidad del vehículo a las condiciones de funcionamiento: Arranque y baja velocidad, velocidad crucero, aceleración y pendiente, deceleración o frenado regenerativo, se estableció el promedio de 3 lecturas para cada valor creciente de velocidad del vehículo híbrido, así mismo se hizo el registro de los consumos específicos de combustible; las pruebas fueron realizadas utilizando el scanner multimarca de diagnóstico profesional basado en el sistema operativo, en un campo de pruebas de un concesionario automotriz.

Las relaciones numéricas entre la variable de funcionamiento del motor de combustión interna fue el torque que genera, del motor eléctrico fue el torque y la intensidad de corriente eléctrica que consume o que genera (de acuerdo al sentido de flujo de la energía), con la velocidad del vehículo híbrido; y se estableció con el método de regresión con el uso de la matemática computacional, que en todas las relaciones no existe linealidad de sus parámetros, en las condiciones de funcionamiento del vehículo híbrido, pero que es muy marcado el aporte de la energía mecánica del motor eléctrico en la condición de funcionamiento de aceleración y pendiente, con un valor promedio de 35.7% para el menor consumo de combustible. La modelización del grado de hibridación HV con respecto a la velocidad del vehículo híbrido, fue lineal decreciente con una pendiente promedio de 77.65%, tomando en consideración desde el arranque y baja velocidad del vehículo que lo hace sólo con el motor eléctrico, hasta su aporte a medida que se incrementa la velocidad, llegando a sólo funcionar con el motor de combustión interna a altas velocidades.

Se realizó la modelización computacional del consumo específico de combustible, para las 2 condiciones de funcionamiento en el cual operan de manera combinada los motores de combustión interna y motor eléctrico, obteniendo una función cuadrática decreciente para la condición de

funcionamiento a velocidad crucero, alcanzado para ésta condición un consumo específico de 39.4 ml/km, a una velocidad de 50.4 km/h, y un aporte de torque del motor eléctrico de 33.9%, para la condición de funcionamiento de aceleración y pendiente, que es en dónde se observó la mayor influencia de aporte del motor eléctrico con un 35.7%, y con un consumo específico de combustible de 37.7ml/km, para una velocidad promedio de 91.5 km/h.

## RECOMENDACIONES

- Con la información de la modelización de las variables de funcionamiento del motor de combustión interna y motor eléctrico del vehículo híbrido, se debe establecer la funcionalidad de éste para su uso dentro del transporte público de pasajeros; es decir con un análisis económico, respaldado por la investigación realizada, hacer el estudio de la factibilidad de adquisición de éstas unidades.
- En el caso de las baterías del vehículo híbrido, se tiene que realizar un análisis de la dosificación de la energía electroquímica almacenada, a fin de que las sollicitaciones de energía eléctrica por parte del motor eléctrico, garanticen la autonomía de éstos, para el caso de la condición de funcionamiento de arranque y de baja velocidad.
- Se recomienda realizar la comparación entre la funcionalidad del vehículo híbrido y el vehículo eléctrico, teniendo en cuenta aspectos económicos, técnicos, de acceso a repuestos, de suministro de carga eléctrica, ambientales, de seguridad, maniobrabilidad a fin de tener políticas claras en el sector energético ligado al transporte.
- Los planes de mantenimiento preventivo y correctivo de los vehículos eléctricos, tiene que realizarse estableciendo en principio los niveles de capacitación del personal especializado, utilizando equipos de diagnóstico automotriz, configurando la calibración y/o cambio de los dispositivos de almacenamiento de energía y motor eléctrico, así como de sus sistema de gestión electrónica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ..
- ÁLVAREZ PEDREGAL, José María. *Estudio del potencial de vehículos híbridos con arquitectura paralelo y motor térmico operado bajo el modo de combustión dual-fuel*. 2020. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València
- ANCHUNDIA-BAILÓN, David Alejandro; SÁNCHEZ-ACOSTA, Jorge Javier. Análisis del funcionamiento de la máquina asíncrona mediante el uso del software MATLAB/Simulink. *Domino de las Ciencias*, 2020, no 5, p. 304-320.
- AVELLANEDA RUFASTO, Johon Smith. Análisis de las emisiones de gases de vehículo Rav4 híbrido (tiempo y RPM) para comparar el grado de contaminación con vehículo Rav4 convencional, Jaén, 2019. 2020.
- BENAVIDES PACHECO, Morelia; RUEDA ARIAS, Stiven Alexander. Comportamiento proambiental de los consumidores de vehículos híbridos del sector automotriz de la ciudad de Barranquilla. 2022.
- BORREGUERO MORENO, Aurora. Diseño y análisis de un sistema de carga inalámbrica de inducción bidireccional para vehículos eléctricos utilizando simulaciones basadas en Matlab-Simulink. 2022.
- BURGOS FERNÁNDEZ, Sergio. *Evaluación de diferentes estrategias energéticas de vehículos híbridos eléctricos*. 2021. Tesis Doctoral.
- BUSTAMANTE REMACHE, Carlos Andrés; LLUMI GUAMBO, Rubén Byron. *Análisis comparativo del rendimiento de un vehículo híbrido Toyota Prius frente un vehículo eléctrico Kia Soul en la ciudad de Cuenca*. 2022. Tesis de Licenciatura.
- CORAL, Katty, et al. Modelos estadísticos de ruido ambiental para el Distrito Metropolitano de Quito DMQ, mediante datos históricos del 2009 al 2015, validados al 2019, como herramienta de calidad ambiental. 2020.
- CHÁVEZ ROMERO, Julio Adrián. Análisis y optimización de un freno regenerativo para un vehículo híbrido. 2017.
- CORNEJO RENTERÍA, José Ramón Martín, et al. Estudio comparativo entre un vehículo Toyota RAV4 híbrido y convencional para determinar su rendimiento técnico y económico. 2020.

- CRUZ FACUNDO, Franklin. Determinación de la rentabilidad de un vehículo híbrido Toyota Yaris en la ruta Jaén-Aeropuerto Shumba. 2020.
- DUEÑAS, Luis Daniel Ramírez; SAQUICELA, José Luis Sampietro. Simulación de la operación de redes de energía inteligentes mediante modelos de demanda de potencia usando Matlab: Simulação de operação de rede inteligente através de modelagem de demanda de energia usando Matlab. *Brazilian Applied Science Review*, 2022, vol. 6, no 5, p. 14029-14065.
- FIALLO POALASIN, Ángel. Evaluación del ecodriving aplicado a vehículos híbridos como una herramienta de eficiencia energética. 2021.
- GALARZA-LINARES, Jose, et al. Evaluación de la red de distribución: conexión del vehículo eléctrico híbrido enchufable. *Revista Tecnología en Marcha*, 2021, p. ág. 50-62.
- GALLARDO GARCÍA, Alejandro Albeiro. Simulación y optimización de un vehículo de tracción híbrida, para recuperar y gestionar la energía de las baterías. 2019.
- GÓMEZ, Óscar Eduardo Munguía. Evaluación tecno-económica de vehículos eléctricos livianos en comparación con vehículos de combustión interna en San Pedro Sula, Cortés, Honduras. 2023.
- GONZÁLEZ CALLEJA, David. Motores térmicos y sus sistemas auxiliares. Ediciones Paraninfo, SA, 2015.
- HENAO-CASTAÑEDA, Edison; ROMERO-PIEDRAHÍTA, Carlos; MONROY-JARAMILLO, Mauricio. Ciclo Atkinson: una alternativa para mejorar la eficiencia en motores de combustión interna. *Revista UIS Ingenierías*, 2019, vol. 18, no 2, p. 167-176.
- LÓPEZ JAIME, Yeuris Adolfo. Modelado y control de un motor de encendido provocado de 3 cilindros y 50 kW para optimizar su rendimiento, usando SÍCICLO y MATLAB. 2019.
- LORENA, RAFAEL GARBELINI. Estudo e avaliação do desempenho de um veículo elétrico híbrido com células a combustível através de um modelo numérico utilizando advisor.
- LLANES-CEDEÑO, Edilberto Antonio; CARGUACHI-CAIZATOA, José Bolívar; ROCHA-HOYOS, Juan Carlos. Evaluación energética y exergética en

un motor de combustión interna ciclo Otto de 1.6 L. Enfoque UTE, 2018, vol. 9, no 4, p. 221-232.

- MARTÍNEZ, Zaira Itzel Chávez. Capacidades Para la Implementación del Sistema de Comercio de Emisiones en México: Análisis Comparado con California. 2022. Tesis Doctoral. Centro de Investigación y Docencia Económicas (Mexico).
- MASCARENHAS, Tomás Bril, et al. Políticas de Desarrollo Productivo Verde para la Argentina. 2021.
- MINELLONO, José Armando. *Evaluación técnica, económica y ambiental de la implementación de autobuses híbridos en la ciudad de Mar del Plata*. 2015. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería. Argentina.
- MOLINA VALLEJO, Luis Carlos; VALENCIA PAZOS, Santiago Federico. *Diseño y construcción de un prototipo de vehículo híbrido ecológico para movilidad urbana en la ciudad de Riobamba mediante el uso del software CAD, CAM, CAE*. 2020. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- MORENO FERNÁNDEZ, Alberto. *Desarrollo de un modelo del sistema de refrigeración de un Motor de Encendido Provocado para vehículo híbrido*. 2021. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.
- ORTIZ, Óscar Olarte; MARTÍNEZ, Javier Enrique Solano; QUIROGA, Óscar Arnulfo Quiroga. GESTIÓN ENERGÉTICA BASADA EN REGLAS PARA UN VEHÍCULO HÍBRIDO-IEEE VTS MOTOR VEHICLES CHALLENGE 2020. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*, 2021.
- PAGUAY QUISHPE, Alex Fernando; RAMOS SÁNCHEZ, Alexander Sebastián. Diseño y construcción de un equipo para diagnóstico de las bobinas del estator para MG de vehículos híbridos. 2021.
- PÉREZ, Miguel Ángel Castro, et al. El Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales-IIES-, 2022.
- PICO GORDÓN, José Andrés, et al. Modelado por técnicas de regresión de los parámetros energéticos de desempeño para gasificadores tipo downdraft. *Ingeniería Energética*, 2019, vol. 40, no 2, p. 138-147.

- RUEDA SOLER, Jorge. Inteligencia de negocios aplicada al sector automovilístico. 2021. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.
- SAGASTUME ALVARADO, David Emilio. Comparación termodinámica entre los ciclos de potencia Otto, en un Toyota Yaris, y Atkinson, en un Toyota Prius. 2016. Tesis Doctoral. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- SÁNCHEZ PÉREZ, Julia. *Modelado de sistemas de gestión térmica en baterías para vehículos híbridos mediante el uso de nanofluidos*. 2021. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.
- SÁNCHEZ, JG Vélez. Análisis y Estimación de la Demanda Eléctrica con la Implementación de Vehículos Eléctricos conectados a una Red de Distribución en Cuenca y El Ecuador. *Universidad de Cuenca*, 2017.
- SARANGO CASANOVA, Diego Fernando. *Caracterización tecnológica del vehículo eléctrico híbrido a través de la definición de su tren de potencia y modelo matemático*. 2022. Tesis de Licenciatura.
- SERNA VILLA, David Arturo. Implementación de estrategias de gestión energética en trenes de potencia de vehículos híbridos eléctricos. 2022.
- SOLER CASESNOVES, Daniel. *Sistema inteligente de revisión de conectores para baterías de vehículos híbridos*. 2022. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.
- TAIPE DEFAZ, Víctor Alfonso. Evaluación energética y exergética de un motor de encendido provocado experimental bajo diferentes gasolinas. 2020.
- TAIPE-DEFAZ, Víctor Alfonso, et al. Evaluación experimental de un motor de encendido provocado bajo diferentes gasolinas. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, 2021, no 26, p. 17-29.
- TRASHORRAS MONTECELOS, JESÚS. Vehículos eléctricos. Ediciones Paraninfo, SA, 2019.
- ZAMBRANO GONZÁLEZ, Karla; GARCÍA-ARANDA, César. El camino de la Unión Europea hacia la neutralidad climática: retos de la transición energética y ecológica tras el Pacto Verde Europeo. *Quaderns IEE*, 2022, vol. 1, no 1, p. 0199-213.











## ANEXO 6

## Lenguaje de Programación de Software de Procesamiento y Análisis de Datos

```

clear, clc, close all

% Con exportación de datos desde excel

hojas=["Grado de Hibridación" "Arranque y Baja Velocidad" "Conducción
de crucero" "Aceleración y Pendiente" "Deceleración o frenado
regenera" "Consumo Combustible-Vel.Crucero" "Consumo Combustible-Acel
y Pend"];
titulos=["Velocidad (km/h)" "Grado de Hibridación HV %" 0 0;
"Velocidad v (km/h)" "Torque TE (N.m)" "Intensidad de
corriente eléctrica (Amperios)" 0;
"Velocidad v (km/h)" "Torque Tm (N.m)" "Torque TE (N.m)"
"Intensidad de corriente eléctrica (Amperios)";
"Velocidad v (km/h)" "Torque Tm (N.m)" "Torque TE (N.m)"
"Intensidad de corriente eléctrica (Amperios)";
"Velocidad v (km/h)" "Intensidad de Corriente Eléctrica" 0 0
"Velocidad v (km/h)" "Consumo de Combustible Q
(mililitros/km)" 0 0
"Velocidad v (km/h)" "Consumo de Combustible Q
(mililitros/km)" 0 0];

doble="Torque";
nd=strlength(doble);
Graf_ad = strncmp(titulos,doble,nd);
[k,l]=size(Graf_ad);
e=[];
for g=1:k
    nm_ad=numel(find(Graf_ad(g,:)));
    if nm_ad>=2
        e=[e g];
    end
end

v=0;
H = numel(hojas);

for h=1:H

    num_a=titulos(h,:);
    eliminar=find(num_a=="0");
    num_a(eliminar) = [];
    repeticiones=numel(num_a)-1;

%     mkdir(char(hojas(h))); %%%%%%%%%%
Comentar una vez creadas las carpetas

raw = readcell('Hibridacion 01.xlsx','Sheet',hojas(h));
[a,b]=size(raw);

x=titulos(h,1);
nx=strlength(x);

Busqueda_Velocidad = strncmp(raw,x,nx);

```

```

columnaV=find(Busqueda_Velocidad==1);
numcolX=floor(columnaV/a)+1;
Cantidad_vehiculos=numel(columnaV);

Velocidad=str2double(string(raw(:,numcolX)));

RL_1=zeros(Cantidad_vehiculos,2);
RL_2=zeros(Cantidad_vehiculos,3);
RL=zeros(Cantidad_vehiculos,3);

R2_1=zeros(Cantidad_vehiculos,1);
R2_2=zeros(Cantidad_vehiculos,1);
R2=zeros(Cantidad_vehiculos,1);

for i=sort(1:Cantidad_vehiculos,'descend') %1:Cantidad_vehiculos

    Velocidad_s=rmmmissing(Velocidad(:,i));
    [c,d]=size(Velocidad_s);

    E=[];

    for r=1:repeticiones

        y=titulos(h,1+r);
        ny=strlength(y);

        Busqueda_Y= strncmp(raw,y,ny);
        columnaY=find(Busqueda_Y==1);
        numcolY=floor(columnaY/a)+1;
        Hibridacion=str2double(string(raw(:,numcolY)));

        Hibridacion_s=rmmmissing(Hibridacion(:,i));

        RL_1(i,:)=polyfit(Velocidad_s,Hibridacion_s,1);
        RL_2(i,:)=polyfit(Velocidad_s,Hibridacion_s,2);

        Calc1 = polyval(RL_1(i,:),Velocidad_s);
        Calc2 = polyval(RL_2(i,:),Velocidad_s);

        R_1 = Hibridacion_s - Calc1;
        R_2 = Hibridacion_s - Calc2;

        SSresid1 = sum(R_1.^2);
        SSresid2 = sum(R_2.^2);

        SStotal = (length(Hibridacion_s)-1) * var(Hibridacion_s);

        R2_1(i) = 1 - SSresid1/SStotal;
        R2_2(i) = 1 - SSresid2/SStotal;

        if R2_1(i)<R2_2(i)
            Calc = Calc2;
            RL(i,:) = RL_2(i,:);
            R2(i) = R2_2(i);
            grf=[num2str(RL(i,1)), 'v^2 + ', num2str(RL(i,2)), 'v +
', num2str(RL(i,3)), ' | R^2 = ', num2str(R2(i))];

```

```

else
    Calc = Calc1;
    RL(i,1:2) = RL_1(i,:);
    R2(i) = R2_1(i);
    grf=[num2str(RL(i,1)), 'v + ', num2str(RL(i,2)), ' | R^2
= ', num2str(R2(i))];
end

M=find(Hibridacion_s==max(Hibridacion_s));
m=find(Hibridacion_s==min(Hibridacion_s));

Decre = and( ~isempty(find(M<=2,1)) ,
~isempty(find(m>=numel(Hibridacion_s)-1,1)) ); %Decreciente
Cres = and( ~isempty(find(m<=2,1)) ,
~isempty(find(M>=numel(Hibridacion_s)-1,1)) ); %Creciente

f=figure(i+Cantidad_vehiculos*(h-1));
f.WindowState = 'maximized';

scatter(Velocidad_s,Hibridacion_s,'DisplayName',y)
hold on
plot(Velocidad_s,Calc,'DisplayName',grf)

if not(or(Decre,Cres))
    prim_deriv=(-RL_2(i,2))/(RL_2(i,1)*2);
    res_deriv=polyval(RL_2(i,:),prim_deriv);
    if RL(i,1)<0
        txt = ['\downarrow Punto Máximo = (' ,
num2str(prim_deriv), ' ; ',num2str(res_deriv), ')'];
        text(prim_deriv,res_deriv+2,txt, 'FontSize', 10)
    elseif RL(i,1)>0
        txt = ['\uparrow Punto mínimo = (' ,
num2str(prim_deriv), ' ; ',num2str(res_deriv), ')'];
        text(prim_deriv,res_deriv-0.2,txt, 'FontSize', 10)
    end
end

hold on
xlabel(x)
title({hojas(h);['Vehículo de Prueba ',num2str(i)]})
grid on
xlim([min(Velocidad_s)-2 max(Velocidad_s)+5])
legend('Location','best')

%           name=[char(hojas(h)),'\Vehículo de Prueba ',num2str(i)];
%***** Comentar una vez creadas las carpetas
%           saveas(gcf,name,'png')
%***** Comentar una vez creadas las carpetas

if max(h==e)
    f_G=find(Graf_ad(h,:));
    if max(r==(f_G-1))
        E=[E Hibridacion_s];
    end
end

end
if max(h==e)

```

```

v=v+1;

for w=1:2
    if w==1
        pol='poly11';
        reg='RLM'; %Regresión lineal múltiple
    else
        pol='poly22';
        reg='RNLM'; %Regresión no lineal múltiple
    end
    fitsurface=fit([E(:,1),E(:,2)],Velocidad_s,
pol, 'Normalize', 'off');
    Coef_sur=coeffvalues(fitsurface);
    RES_EC=Coef_sur(1) + Coef_sur(2).*E(:,1) +
Coef_sur(3).*E(:,2);
    if w==2
        RES_EC=RES_EC + Coef_sur(4).*E(:,1).^2 +
Coef_sur(5).*E(:,1).*E(:,2) + Coef_sur(6).*E(:,2).^2;
    end

    R = Velocidad_s - RES_EC;
    SSresid = sum(R.^2);
    SStotal = (length(Velocidad_s)-1) * var(Velocidad_s);
    R2m = 1 - SSresid/SStotal;

    ec_rm=[num2str(Coef_sur(1)), ' + ',
num2str(Coef_sur(2)), ' Tm + ', num2str(Coef_sur(3)), ' TE '];
    if w==2
        ec_rm=[ec_rm, '+ ', num2str(Coef_sur(4)), ' Tm^2 +
', num2str(Coef_sur(5)), ' Tm*TE + ', num2str(Coef_sur(6)), ' TE^2 '];
    end
    ec_rm=[ec_rm, '| R^2 = ', num2str(R2m)];

    f=figure(Cantidad_vehiculos*H+w+2*(v-1));
    f.WindowState = 'maximized';
    plot(fitsurface, [E(:,1),E(:,2)],Velocidad_s)
    hold on
    xlabel(titulos(h, f_G(1)))
    ylabel(titulos(h, f_G(2)))
    zlabel(x)
    view(50,10)
    title({hojas(h);reg;['Vehículo de Prueba
',num2str(i)];ec_rm})
    hold off

%           name=[char(hojas(h)), '\', reg, '_Vehículo de Prueba
',num2str(i)]; %%%%%%%%% Comentar una vez creadas las carpetas
%           saveas(gcf,name, 'png')
%%%%%%%%%% Comentar una vez creadas las carpetas

    end
end
end
pause
end

```

## ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

Siendo las 4:00 p.m. del día martes 09 de mayo de 2023, se dio inicio a la Sustentación Virtual de Tesis soportado por el sistema Google Meet, preparado y controlado por la Unidad de Tele Educación de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque, con la participación en la Video Conferencia de los miembros del Jurado, nombrados con Resolución N° 0936-2019-EPG, de fecha 24 de julio de 2019, conformado por:

Dr. LUIS JAIME COLLANTES SANTISTEBAN	presidente
Dr. SEBASTIAN HUANGAL SCHEINEDER	secretario
Dr. LUIS ANTONIO POZO SUCLUPE	vocal
Dr. AMADO AGUINAGA PAZ	asesor

Para evaluar el informe de tesis del tesista JAMES SKINNER CELADA PADILLA, candidato a optar el grado de *DOCTOR EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA CON MENCION EN ENERGIA*, con la tesis titulada “*MODELACION ENERGETICA PARA DETERMINAR LOS FLUJOS OPTIMOS DE ENERGIA EN UN VEHICULO AUTOMOTRIZ LIVIANA HIBRIDO.*”.

El Sr. Presidente, después de transmitir el saludo a todos los participantes en la Video Conferencia de la Sustentación Virtual ordenó la lectura de la Resolución N° 415-2023-EPG de fecha 28 de abril de 2023, que autoriza la Sustentación Virtual del Informe de tesis correspondiente, luego de lo cual autorizó al candidato a efectuar la Sustentación Virtual, otorgándole 40 minutos de tiempo y autorizando también compartir su pantalla.

Culminada la exposición del candidato, se procedió a la intervención de los miembros del jurado, exponiendo sus opiniones y observaciones correspondientes, posteriormente se realizaron las preguntas al candidato.

Culminadas las preguntas y respuestas, el Sr. Presidente, autorizó el pase de los miembros del Jurado a la sala de video conferencia reservada para el debate

sobre la Sustentación Virtual del Informe de tesis realizada por el candidato, evaluando en base a la rúbrica de sustentación y determinando el resultado total de la tesis con 18,25 puntos, equivalente a MUY BUENO, quedando el candidato apto para optar el Grado de *DOCTOR EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA CON MENCIÓN EN ENERGIA*.

Se retornó a la Video Conferencia de Sustentación Virtual, se dio a conocer el resultado, dando lectura del acta y se culminó con los actos finales en la Video Conferencia de Sustentación Virtual.

Siendo las 5: 17 p.m. se dio por concluido el acto de Sustentación Virtual.



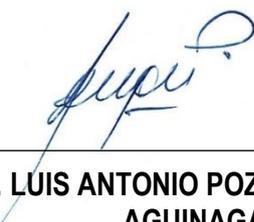
---

**Dr. LUIS JAIME COLLANTES SANTISTEBAN  
HUANGAL SCHEINER**  
PRESIDENTE



---

**Dr. SEBASTIAN**  
SECRETARIO



---

**Dr. LUIS ANTONIO POZO SUCLUPE  
AGUINAGA PAZ**  
ASESOR

---

**Dr. AMADO**  
VOCAL

## CONSTANCIA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS

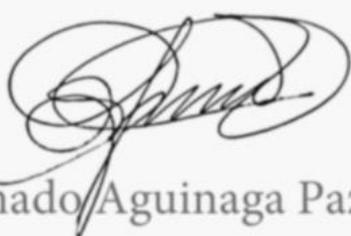
Yo; Amado Aguinaga Paz, Docente Asesor de tesos del trabajo de investigación del estudiante James Skinner Celada Padilla

Titulada:

*MODELACION ENERGETICA PARA DETERMINAR LOS FLUJOS OPTIMOS DE ENERGIA EN UN VEHICULO AUTOMOTRIZ LIVIANA HIBRIDO*, luego de la revisión exhaustiva del documento, constato que la misma tiene un índice de similitud del 16%, verificable en el reporte de similitud del programa Turnitin.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias no constituye plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

Lambayeque, 10 de Mayo del 2023



Amado Aguinaga Paz

DNI 16527442

## Modelación Energética para determinar los Flujos Óptimos de Energía en un Vehículo Automotriz Liviano Híbrido 1

### INFORME DE ORIGINALIDAD

**16%**

INDICE DE SIMILITUD

**16%**

FUENTES DE INTERNET

**5%**

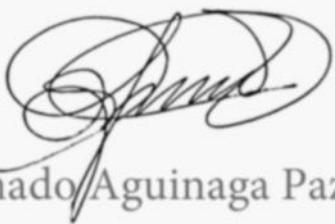
PUBLICACIONES

**4%**

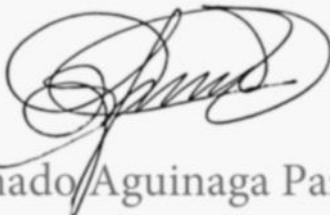
TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	4%
2	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="http://dspace.ups.edu.ec">dspace.ups.edu.ec</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://dspace.esPOCH.edu.ec">dspace.esPOCH.edu.ec</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://repositorio.unprg.edu.pe">repositorio.unprg.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://repositorio.uisek.edu.ec">repositorio.uisek.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://alicia.concytec.gob.pe">alicia.concytec.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="http://dominiodelasciencias.com">dominiodelasciencias.com</a> Fuente de Internet	

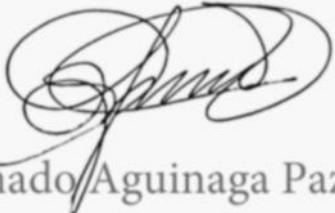
  
Amado Aguinaga Paz

		<1 %
10	<a href="http://repositorio.espe.edu.ec">repositorio.espe.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://dokumen.pub">dokumen.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to UTEC Universidad de Ingeniería & Tecnología Trabajo del estudiante	<1 %
15	<a href="http://www.sma.df.gob.mx">www.sma.df.gob.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://rinfi.fi.mdp.edu.ar">rinfi.fi.mdp.edu.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
17	Osornio Correa Cuitlahuac. "Caracterización de una transmisión flexible y dimensionamiento del tren transmisión de potencia de un vehículo eléctrico híbrido para máxima eficiencia", TESIUNAM, 2006 Publicación	<1 %
18	Submitted to Anglo-Chinese School (International) Trabajo del estudiante	<1 %



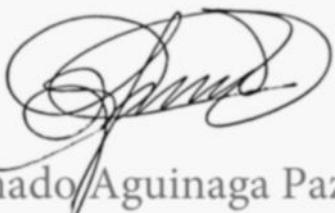
Amado Aguinaga Paz

19	<a href="http://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	<1 %
21	<a href="http://patents.google.com">patents.google.com</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://ojs.brazilianjournals.com.br">ojs.brazilianjournals.com.br</a> Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Infile Trabajo del estudiante	<1 %
24	<a href="http://riunet.upv.es">riunet.upv.es</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="http://ingenius.ups.edu.ec">ingenius.ups.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="http://upc.aws.openrepository.com">upc.aws.openrepository.com</a> Fuente de Internet	<1 %
27	Mendoza Soto José Luis. "Modelado y control de un sistema de propulsión híbrido diesel eléctrico", TESIUNAM, 2008 Publicación	<1 %
28	<a href="http://joluisensenpai.wordpress.com">joluisensenpai.wordpress.com</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %



Amado Aguinaga Paz

30	<a href="http://brainly.lat">brainly.lat</a> Fuente de Internet	<1 %
31	Muñoz Gasca Andrea Adriana, Vega Cedillo Abraham. "Diseño del sistema de selección y acoplamiento de la propulsión de un vehículo híbrido de carga", TESIUNAM, 2002 Publicación	<1 %
32	<a href="http://www.webscolar.com">www.webscolar.com</a> Fuente de Internet	<1 %
33	<a href="http://repositorio.uide.edu.ec">repositorio.uide.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
34	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1 %
35	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
36	<a href="http://ddd.uab.cat">ddd.uab.cat</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="http://archive.org">archive.org</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="http://stutzartists.org">stutzartists.org</a> Fuente de Internet	<1 %
39	<a href="http://www.energiass.com">www.energiass.com</a> Fuente de Internet	<1 %
40	<a href="http://www.gacetaoficial.gob.pa">www.gacetaoficial.gob.pa</a> Fuente de Internet	<1 %

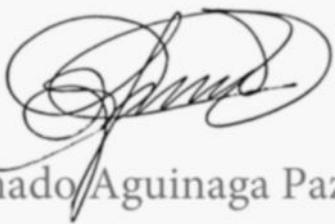


Amado Aguinaga Paz

---

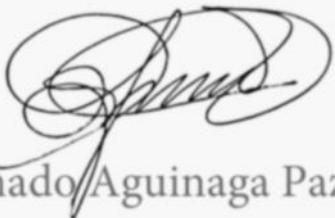
41	<a href="http://alboratorio.infeuropa.es">alboratorio.infeuropa.es</a> Fuente de Internet	<1 %
42	<a href="http://biblio.flacsoandes.edu.ec">biblio.flacsoandes.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
43	<a href="http://www.coches-actu.com">www.coches-actu.com</a> Fuente de Internet	<1 %
44	<a href="http://tesis.ipn.mx">tesis.ipn.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
45	<a href="http://acofipapers.org">acofipapers.org</a> Fuente de Internet	<1 %
46	Submitted to Universidad Católica San Pablo Trabajo del estudiante	<1 %
47	<a href="http://repositorio.espe.edu.ec:8080">repositorio.espe.edu.ec:8080</a> Fuente de Internet	<1 %
48	Díaz Rivera Alejandro. "Aspectos fundamentales de recursos de la construcción", TESIUNAM, 1996 Publicación	<1 %
49	Huante Pérez Liborio. "Estudio térmico y eléctrico para el rediseño de los sistemas de generación de electricidad y bombeo de agua de un complejo industrial en el mar", TESIUNAM, 2004 Publicación	<1 %

---



Amado Aguinaga Paz

50	Lim, J.H.. "Nonparametric tests for detecting greater residual life times", Journal of the Korean Statistical Society, 200806 Publicación	<1 %
51	administracion.uexternado.edu.co Fuente de Internet	<1 %
52	manualzz.com Fuente de Internet	<1 %
53	www.dominiodelasciencias.com Fuente de Internet	<1 %
54	www.itu.int Fuente de Internet	<1 %
55	fr.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
56	www.acofi.edu.co Fuente de Internet	<1 %
57	www.journalingeniar.org Fuente de Internet	<1 %
58	"Poder de mercado y mecanismos de regulación medioambiental en el sector eléctrico chileno", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2014 Publicación	<1 %
59	es.readkong.com Fuente de Internet	<1 %



Amado Aguinaga Paz

60	<a href="http://novasinerгия.unach.edu.ec">novasinerгия.unach.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
61	<a href="http://repositorio.uandina.edu.pe">repositorio.uandina.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
62	<a href="http://repositorio.utn.edu.ec">repositorio.utn.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
63	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
64	<a href="http://folvemare.campuseina.com">folvemare.campuseina.com</a> Fuente de Internet	<1 %
65	<a href="http://repositorio.cuc.edu.co">repositorio.cuc.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
66	<a href="http://repositorio.ug.edu.ec">repositorio.ug.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
67	<a href="http://scielo.senescyt.gob.ec">scielo.senescyt.gob.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
68	<a href="http://www.economicasunp.edu.ar">www.economicasunp.edu.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
69	<a href="http://www.semanticscholar.org">www.semanticscholar.org</a> Fuente de Internet	<1 %
70	<a href="http://joaquinamatrodrigo.github.io">joaquinamatrodrigo.github.io</a> Fuente de Internet	<1 %
71	<a href="http://www.onlymanuals.com">www.onlymanuals.com</a> Fuente de Internet	<1 %



Amado Aguinaga Paz



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: James Skinner Celada Padilla  
 Título del ejercicio: Modelación Energética para determinar los Flujos Óptimos ...  
 Título de la entrega: Modelación Energética para determinar los Flujos Óptimos ...  
 Nombre del archivo: TESIS\_FINAL\_DOCTORADO\_JAMES\_SKINNER\_CELADA\_PADILLA...  
 Tamaño del archivo: 6.2M  
 Total páginas: 138  
 Total de palabras: 25,552  
 Total de caracteres: 135,021  
 Fecha de entrega: 03-abr.-2023 08:51p. m. (UTC-0500)  
 Identificador de la entre... 2055175015



  
 Amado Aguinaga Paz