

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



TESIS

**“ANÁLISIS DE LA CONVERSIÓN DE UN VEHÍCULO TOYOTA
PRIUS DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A
ELÉCTRICO HÍBRIDO EN SERIE PARA LA REGIÓN PUNO”**

PRESENTADA POR:

ALEX WILINTHON APAZA LÓPEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA ELÉCTRICA
ANÁLISIS DE LA CONVERSIÓN DE UN VEHÍCULO TOYOTA
PRIUS DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A ELÉCTRICO
HÍBRIDO EN SERIE PARA LA REGIÓN PUNO

TESIS PRESENTADA POR:

ALEX WILINTHON APAZA LÓPEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

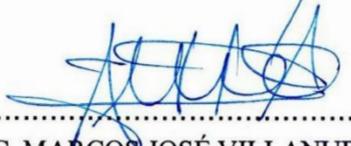
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

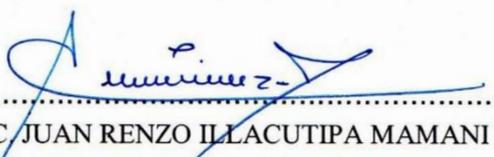


APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE : 
 ING. LEONEL MARINO CASTILLO ENRÍQUEZ

PRIMER MIEMBRO : 
 M.SC. ANGEL MARIO HURTADO CHÁVEZ

SEGUNDO MIEMBRO : 
 M.SC. MARCOS JOSÉ VILLANUEVA CORNEJO

DIRECTOR DE TESIS : 
 M.SC. JUAN RENZO ILLACUTIPA MAMANI

TEMA: Motores de Combustión Interna.
ÁREA: Ingeniería Mecánica.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 27 DE DICIEMBRE DE 2017

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la “UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO” la cual me abrió las puertas para darme la oportunidad de forjarme profesionalmente.

A la facultad de FIMEES – UNA PUNO, en especial a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por sus enseñanzas y orientaciones impartidas para seguir adelante en el campo profesional.

A mis padres y hermanos, por su constante apoyo a lo largo de mi vida como estudiante.

A todos mis compañeros de estudio y amigos con quienes he compartido muchas experiencias dentro de las aulas, y por la amistad que me brindaron en mi vida como estudiante universitario.

Alex Wilinthón, APAZA LÓPEZ

DEDICATORIA

Dedico esta tesis de investigación a mis padres Alejandro e Irene por su guía y ejemplos maravillosos que estuvieron presentes durante toda mi formación profesional y por brindarme siempre su apoyo incondicional.

A toda mi familia que es lo mejor y más valioso que me ha dado la vida.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	3
DEDICATORIA.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	23
ÍNDICE DE FIGURAS	24
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	26
RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I.....	25
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	25
1.1 Descripción del Problema.....	25
1.1.1 Formulación del Problema	26
1.2 Justificación del Problema.....	27
1.3 Objetivo de la Investigación	28
1.3.1 Objetivos Específicos	28
CAPÍTULO II	29
MARCO TEÓRICO	29
2.1 Antecedentes Nacionales	29
2.2 Antecedentes Internacionales	30
2.3 Sustento Teórico	32
2.3.1 Historia Propulsión de Vehículos Híbridos	32
2.3.2 Vehículo Híbrido Eléctrico.....	37
2.3.3 Características del Sistema Híbrido.....	39
2.3.4 Autonomía de los Vehículos Híbridos Eléctricos	41
2.3.5 Vehículos Híbridos Eléctricos y Normatividad en el Perú.....	45
2.3.6 Configuración de Vehículos Híbridos Eléctricos	47
2.3.7 Configuración de Vehículo Híbrido Eléctrico en Serie.....	47
2.3.8 Configuración de Vehículo Híbrido Eléctrico en Paralelo	49
2.3.9 Componentes Principales del Vehículo Híbrido	49
2.3.10 Funcionamiento de la Transmisión Híbrida	64
2.3.11 Frenado en Configuración en Serie	69
2.3.12 Condiciones de Operación del Vehículo Híbrido Eléctrico.	72
2.3.13 Rendimiento del Vehículo Híbrido	77
2.3.14 Ventajas de los Vehículos Híbridos	77
2.3.15 Emisiones	79
2.4 Hipótesis de la Investigación	80
2.4.1 Hipótesis General	80
2.4.2 Hipótesis Específicas	81
CAPÍTULO III.....	82
MARCO METODOLOGICO	82
3.1 Tipología y Nivel de Investigación	82
3.1.1 Tipo de Investigación	82
3.1.2 Nivel de Investigación.....	82

3.1.3	Método y Diseño de la Investigación	82
3.1.4	Población y Muestra de Investigación.....	83
3.1.5	Ubicación y Muestra de la Investigación	83
3.1.6	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	84
3.1.7	Técnicas de Análisis de la Recolección de Datos	85
3.2	Balance de Potencia del Vehículo Híbrido.....	85
3.2.1	Par Motor.....	85
3.2.2	Potencia	85
3.2.3	Curva de Potencia.....	88
3.2.4	Calculo de Velocidades	88
3.2.5	Resistencia de Rodadura.....	89
3.2.6	Resistencia por la Pendiente de la Carretera (Rp)	90
3.2.7	Resistencia Aerodinámica	92
3.2.8	Resistencia Total al Movimiento del Vehículo	92
CAPÍTULO IV		93
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....		93
4.1	Análisis de Autonomía del Vehículo Híbrido	93
4.1.1	Cálculo de Velocidades	93
4.1.2	Cálculo de Resistencia a la Rodadura (Rr).....	94
4.1.3	Cálculo de Resistencia Aerodinámica	95
4.1.4	Cálculo de Resistencia Total al Movimiento del Vehículo	96
4.1.5	Cálculo Tractor de Esfuerzo a Superar las Ruedas Motrices	96
4.1.6	Cálculo de los Momentos Torsores:	97
4.1.7	Cálculo de los Momentos Torsor de Rueda	97
4.1.8	Cálculo de los Momentos Torsor Diferencial	97
4.1.9	Cálculo de los Momentos Torsor Motor	98
4.1.10	Cálculo de las Potencias	98
4.1.11	Rendimientos de Potencia	98
4.1.12	Rendimiento Total del Modelo.....	99
4.1.13	Calculo de Energía del Combustible del Motor Térmico.....	99
4.1.14	Energía que Consume el Motor Eléctrico	100
4.1.15	Potencia que Entrega la Batería.....	105
4.1.16	Potencia del Alternador a la Batería	106
4.1.17	Tiempo de Carga de la Batería	106
4.1.18	Carga Teórica de Batería	106
4.1.19	Consumo del Combustible	107
4.1.20	Cálculo de la Potencia para Mover el Vehículo Híbrido.....	108
CONCLUSIONES		113
SUGERENCIAS.....		114
BIBLIOGRAFÍA		115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1: Consumo Anual de Combustible	43
Tabla N° 2.2: Torque Máximo de los Vehículos.....	44
Tabla N° 2.3: Potencia Máxima de Ambos Vehículos.....	45
Tabla N° 2.4: Especificaciones de Motor Generador 2.....	54
Tabla N° 2.5: Datos de Baterías Híbridas.	58
Tabla N° 2.6: Ventajas Híbridas Sobre Convencionales.....	78
Tabla N° 3.1: Valores de Coeficientes de Adherencia	91
Tabla N° 4.1: Consumo de Corriente del Motor Eléctrico	100
Tabla N° 4.2: Potencias del Vehículo de Combustión	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1: Primer Vehículo híbrido.....	33
Figura N° 2.2: Vehículo Híbrido.....	41
Figura N° 2.3: Vehículo Híbrido de Configuración en Serie	48
Figura N° 2.4: Vehículo Híbrido de Configuración en Paralelo	49
Figura N° 2.5: Motor de Combustión Interna	50
Figura N° 2.6: Ciclo Otto	52
Figura N° 2.7: Generador Vista en Sección	54
Figura N° 2.8: Generador	55
Figura N° 2.9: Motor Eléctrico	56
Figura N° 2.10: Inversor.....	58
Figura N° 2.11: Baterías de Alta Tensión	59
Figura N° 2.12: Esquema Interna de la Transmisión Híbrida	60
Figura N° 2.13: Transmisión Híbrida.....	61
Figura N° 2.14: Sistema de Transmisión de Potencia Híbrida.....	62
Figura N° 2.15: Esquema de Transmisión Híbrida	63
Figura N° 2.16: Transmisión de Vehículo Híbrido	64
Figura N° 2.17: Transmisión de Engranajes Planetarios.....	65
Figura N° 2.18: Bloqueo de la Corona.....	65
Figura N° 2.19: Bloque de Porta-Satélites	66
Figura N° 2.20: Bloqueo del Planetario	66
Figura N° 2.21: Bloqueo de los Satélites	67
Figura N° 2.22: Frenado dn Configuración en Serie.....	70
Figura N° 2.23: Frenos Regenerativos	71
Figura N° 2.24: Freno Regenerativo THS VS THSII	71
Figura N° 2.25: Control Cooperativo de Frenos Regenerativos.....	72
Figura N° 2.26: Funcionamiento del Vehículo Híbrido en Aceleración Inicial.....	73
Figura N° 2.27: Funcionamiento eel Vehículo Híbrido en Aceleración Inicial.....	74
Figura N° 2.28: Vehículo Híbrido con Aceleración Fuerte.....	74
Figura N° 2.29: Vehículo Híbrido en Desaceleración y Frenado.....	75
Figura N° 2.30: Vehículo Híbrido en Marcha Atrás o Retro.	76
Figura N° 2.31: Vehículo Híbrido en Detención o Parada.....	76
Figura N° 3.1: Mapa de la Región de Puno con Zona de Ubicación del Proyecto.....	84

Figura N° 3.2: Curva de par Motor Potencia.....	88
Figura N° 3.3: Fuerzas Longitudinales de in Vehículo de Tracción	89
Figura N° 3.4: Fuerzas Existentes en la Rueda Motriz	90
Figura N° 4.1: Perdida de Potencia	99
Figura N° 4.2: Curva de Consumo del Motor Elèctrico	101
Figura N° 4.3: Aproximacion de la Cutva de Consumo.....	103
Figura N° 4.4: Ciclos del Vehículo Toyota.....	111

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

MCI	: Motor de Combustion Interna
MC1	: Motor Generador 1
MC2	: Motor Generador 2
VCA	: Voltios de Corriente Alterna
MT	: Motor Térmico (Motor de Combustión Interna)
K/h	: Kilómetros por hora
ECU	: Unidad de Control del Sistema Híbrido
VCA	: Voltios de Correinte Alterna
BT	: Baja Tensión
CA-CC	: Corriente Alterna, Corriente Continua
ECB	: Electronic Control Braking
ECO	: Respuesta Acelerador Suave
PWR	: Respuesta Acelerador Incrementada
HEV	: Hibryd Electric Vehicle
PSD	: Engranaje Planetario
CAN	: Controler Area Network
HSD	: Hibryd Synergy Drive
EPS - SEP	: Electric Power System ó Sistemas Electricos de Potencia

RESUMEN

La presente tesis de investigación titulada “ANÁLISIS DE LA CONVERSIÓN DE UN VEHÍCULO TOYOTA PRIUS DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A ELÉCTRICO HÍBRIDO EN SERIE PARA LA REGIÓN PUNO”, constituye un aporte para la EPIME de la UNA-PUNO, y para las áreas de estudio de ramas afines con la aplicación de aplicar nuevas tecnologías de regeneración de energía en vehículos con motores de combustión interna convertido a vehículo híbrido. La metodología utilizada para el siguiente trabajo de investigación es descriptivo-analítico. El objetivo principal es proponer la conversión un vehículo tradicional de motor de combustión interna a vehículo híbrido eléctrico modelo Toyota Prius de configuración en serie para mejorar la autonomía energética del vehículo híbrido el cual nos permite analizar, identificar las partes que conforman el sistema para la conversión del vehículo híbrido eléctrico el cual es muy importante para ver el funcionamiento del motor térmico y el motor eléctrico en sus diferentes fases de funcionamiento y disminuir el consumo de combustibles no renovables derivados del petróleo y la contaminación ambiental, y aplicar estos nuevos avances tecnológicos en vehículos convencionales de motores de combustión interna. Se basa en comparar cálculos matemáticos como eficiencia, consumo de combustible, torque, potencia, etc. Este trabajo de investigación nos ayudara a analizar el vehículo híbrido en sus distintas etapas de funcionamiento, y ver como la energía cinética del vehículo se convierte en energía eléctrica que se almacena en las baterías de alto voltaje mediante el freno regenerativo.

PALABRAS CLAVE: vehículo híbrido, eficiencia, consumo de combustible, motor eléctrico

ABSTRACT

The present research thesis entitled “ANALYSIS OF THE CONVERSION OF A TOYOTA PRIUS VEHICLE OF INTERNAL COMBUSTION MOTOR TO SERIAL HYBRID ELECTRIC FOR THE PUNO REGION”, constitutes a contribution for the EPIME of the ONE-PUNO, and for the areas of study of related branches with the application of applying new energy regeneration technologies in vehicles with internal combustion engines converted to hybrid vehicles. The methodology used for the following research work is descriptive-analytical. The main objective is to propose the conversion of a traditional internal combustion engine vehicle to a hybrid hybrid vehicle, Toyota Prius model in series configuration to improve the energy autonomy of the hybrid vehicle which allows us to analyze, identify the parts that make up the system for the conversion of the hybrid electric vehicle which is very important to see the operation of the thermal engine and the electric motor in its different phases of operation and reduce the consumption of non-renewable fuels derived from petroleum and environmental pollution, and apply these new technological advances in vehicles conventional internal combustion engines. It is based on comparing mathematical calculations such as efficiency, fuel consumption, torque, power, etc. This research work will help us analyze the hybrid vehicle in its different stages of operation, and see how the kinetic energy of the vehicle is converted into electrical energy that is stored in high-voltage batteries using the regenerative brake.

KEY WORDS: hybrid vehicle, efficiency, fuel consumption, electric motor

INTRODUCCIÓN

Para la elaboración del estudio de investigación, se ha partido a base de una evaluación de nivel descriptivo que comienza a desarrollarse sobre la importancia que se tiene en el uso de nuevas tecnologías como la híbrida en automóviles con motores convencionales, sin embargo, es un área que necesita mucha investigación y trabajo para su desarrollo. En la actualidad se puede lograr reducir las fuentes de energías no renovables y además contaminantes como el diésel-petróleo. Se ha buscado nuevas tecnologías y el vehículo híbrido presenta un factor muy favorable para éste propósito ya que es un salto tecnológico de los últimos años que nos podría dar ventajas en un futuro muy próximo, para no depender de combustibles del derivado del petróleo.

En la actualidad el uso de vehículos híbridos tiene dos ventajas principales que son el ahorro de combustibles y la reducción de gases contaminantes y ambos se consiguen aplicando nuevas tecnologías que puede ser por regeneración de su propia energía usando frenos regenerativos, el uso del vehículo híbrido es también muy silencioso en recorridos en la ciudad donde se da la mayor la contaminación ambiental.

Este tipo de vehículo híbrido es cuando la propulsión se realiza utilizando dos tipos diferentes de fuentes de energía es decir una combinación energética entre estos dos motores, además el vehículo híbrido se alimenta de energía eléctrica que proviene de las baterías conectado a un motor térmico cubriendo las necesidades de rendimiento y autonomía, el uso masivo de los vehículos híbridos reduciría la demanda de combustibles fósiles teniendo en cuenta que las emisiones de gases toxicas descargadas al medio ambiente y al aire son producidas por los gases de escape de los motores de combustión interna.

A continuación, se desarrolla el trabajo a partir de los siguientes capítulos:

CAPÍTULO I: Menciona el planteamiento, descripción del problema de investigación, la descripción del problema en el uso de implementar tecnologías nuevas en automóviles convencionales, la justificación del problema, los objetivos de la investigación como representación principal de la tesis de investigación. En las que especifica el por qué y los orígenes del problema en base a los antecedentes existentes sobre el tema para luego ser formulados mediante objetivos específicos.

CAPÍTULO II: Comprende el estudio del marco teórico, los antecedentes de los trabajos realizados a nivel nacional e internacional acerca de la conversión de vehículos híbridos con sus respectivas variables, el sustento teórico expone aspectos conceptuales de la implementación de vehículos híbridos, elección de componentes del sistema de funcionamiento.

CAPÍTULO III: Comprende la metodología empleada en la elaboración del proyecto desde el marco metodológico, como la aplicación del método y diseño de la investigación donde describe acerca de la tipología y nivel de investigación partiendo desde la recolección de datos y diversas variables para el vehículo híbrido.

CAPÍTULO IV: Finalmente comprende los análisis e interpretación de resultados y la discusión respectiva de la operación que se logró obtener desde los primeros capítulos anteriores para la realización operacional de la autonomía del vehículo híbrido.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del Problema

Es una preocupación que tenemos hoy en día sobre el medio ambiente y los combustibles derivados del petróleo está en escases y su producción se reduce cada vez más y esto ha llevado a desarrollar soluciones alternativas en los vehículos de motores térmicos que sean capaces de consumir menos combustibles fósiles y menos contaminantes. Los vehículos que usamos en la actualidad deben ser cada vez más limpios, esta ha impulsado el desarrollo de soluciones innovadoras y eficaces para la reducción del uso de fuentes de energía no renovable y además contaminante. Los vehículos híbridos representan algunos de los principales saltos tecnológicos de los últimos años. En la última década se comenzó a desarrollar una nueva clase de vehículo para su uso particular, el vehículo híbrido eléctrico-gasolina, este fue desarrollado, con el fin de disminuir de forma considerable, tanto el consumo de combustible, como las emisiones de gases nocivos de escape. Otra de las ventajas del vehículo híbrido es su uso más silencioso en ciudad, donde el mayor impacto negativo sobre la calidad de vida tiene la contaminación. Por definición, un vehículo híbrido es aquél cuya propulsión se realiza utilizando dos tipos diferentes de fuentes de energía. En la práctica, se pueden dar diferentes combinaciones energéticas duales: motor eléctrico que se alimenta de la energía de baterías conectadas a un motor de combustión interna, combinada con un motor eléctrico alimentado con baterías, un motor de combustión combinado con otro eléctrico. Los vehículos híbridos en la actualidad usan estos sistemas un motor eléctrico y otro de combustión interna o convencional. El origen de la energía utilizada para la propulsión sería por tanto dual: el

depósito de combustible alimentaría al motor de combustión convencional y la batería al motor eléctrico. De esta manera en teoría se podría usar el motor eléctrico para circular en zonas urbanas sin consumir combustible y evitando las emisiones nocivas (ruido, gases, etc.), y el motor de combustión interna para zonas interurbanas, a lo largo de este trabajo de investigación se explica el proceso sistemático del vehículo híbrido eléctrico

1.1.1 Formulación del Problema

1.1.1.1 Problema General

- ¿En qué medida el análisis de la conversión de un vehículo Toyota Prius de motor de combustión interna a eléctrico híbrido en serie para la región Puno permitirá reducir los niveles de contaminación de emisión de gases en la Región Puno?

1.1.1.2 Problemas Específicos

- ¿En qué medida la evaluación del desempeño del proceso con motor a gasolina, proyectado a motor eléctrico, permitirá conocer el funcionamiento de los mismos?
- ¿En qué medida la determinación de las emisiones de CO₂ con motor a gasolina convertido a Motor Eléctrico, permitirá minimizar las emisiones de gases?
- ¿De qué manera la evaluación de la eficiencia productiva y energética con el uso del motor a gasolina proyectado a motor Eléctrico, permitirá elegir el más eficiente?

1.2 Justificación del Problema

La presente tesis justifica los parámetros adicionales de tecnologías limpias que se pueden aplicar en nuestros vehículos que existen en la actualidad, la necesidad de demostrar la relación entre la energía convencional con la energía regenerativa en los vehículos híbridos.

En la actualidad el transporte depende de su mayor parte de energía fósil, sobre todo del diésel-petróleo, el diésel cuyos derivados cubren el 98% de las necesidades energéticas del sector. Por otro lado, buena parte de este consumo energético tiene lugar en las zonas urbanas, donde una cuarta parte del desplazamiento supera los 10 Km y el consumo de combustible se ve incrementado por el elevado número de movimiento de arranque y frenada. Así el tráfico en las ciudades origina problemas de contaminación ambiental, exceso de ruido y secuelas en la salud de las personas. Es en este contexto que los vehículos con motores de poca emisión de gases tóxicos pueden colaborar en la mejora de nuestro entorno y la salud de las personas.

Por lo tanto, los métodos, procedimientos y técnicas e instrumentos empleados en la investigación, una vez demostrada su validez y confiabilidad podrán ser utilizados en otros trabajos de investigación, así mismo se favorecerá el rendimiento del sistema eléctrico por el aplanamiento de la curva de demanda, se facilita la optimización de la infraestructura actual puesto que no se requiere de una ampliación de la potencia de generación para atender al consumo de un parque de vehículos híbridos eléctricos, finalmente, permite una mayor incorporación de energías renovables en los momentos de menor demanda, sin riesgo de desestabilización del sistema, así mismo el vehículo híbrido eléctrico genera menor cantidad de emisiones durante su utilización en modo eléctrico, evitando, por tanto, la emisión de gases contaminantes en el ámbito urbano que tan

necesario resulta la mejora de la calidad del aire de las ciudades y para la salubridad de los ciudadanos que las habitan.

1.3 Objetivo de la Investigación

El objetivo de la tesis es elaborar un estudio para Analizar la conversión de un vehículo Toyota Prius de motor de combustión interna a eléctrico híbrido en serie para la Región Puno.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Analizar y evaluar el desempeño del proceso para la conversión del vehículo Toyota de motor de combustión interna motor eléctrico híbrido en serie.
- Desarrollar el proceso técnico de conversión del vehículo Toyota de motor de combustión interna a motor eléctrico híbrido en serie para determinar las emisiones de CO₂.
- Realizar Diagnosticar las características técnicas, modo de operación del vehículo híbrido eléctrico en serie.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Nacionales

Ayasta (2018), en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, en su estudio realizado, en el que Concluye: “El Toyota Prius C (Vehículo Híbrido) posee una eficiencia de 33.7% mientras que el Toyota Yaris (Vehículo convencional) posee una eficiencia del 26.9%, un 6.8% más, pero aun así no puede llegar al 75 % de la eficiencia promedio del vehículo eléctrico. El Toyota Prius C (Vehículo Híbrido) tiene un consumo específico de combustible de 1.12 gal/100km superior al 1.60 gal/100km del Toyota Yaris (Vehículo convencional) por lo tanto recorreríamos más kilómetros con la misma cantidad de combustible”.

Cantorin (2018), en la Universidad Nacional del Centro del Perú de Huancayo, en su estudio realizado, en el que Concluye: “El trabajo realizado caracteriza al uso del freno regenerativo como un sistema de regeneración de energía que permite aprovechar los propios recursos del vehículo híbrido, como es el caso de la energía cinética, la cual es aprovechada en cada desaceleración por medio del motor eléctrico, convirtiéndola en energía eléctrica, en consecuencia disminuyendo la utilización del motor de combustión interna, la cual se traduce en una mayor eficiencia energética para el vehículo híbrido. Es así que, para un recorrido de 45 km en Lima Metropolitana, el promedio de potencia regenerada por un vehículo híbrido es de 8.33 kW con un consumo de combustible de 3.8 l/100km y las emisiones de CO₂ y NO_x son de 147 g/km y 2 g/1000 km, respectivamente”.

Gallardo (2019), en la Universidad Tecnológica del Perú de Huancayo, en su estudio realizado, en el que Concluye: “Se hizo la simulación de la optimización en la estrategia de control del vehículo híbrido Toyota Prius THS II, ponderando el par de tracción que aporta el motor eléctrico, dependiendo si se encuentra en modo híbrido de agotamiento de la carga o en el modo híbrido de sostenimiento de la carga; de esta manera se comprobó que el estado de carga de la batería (SOC) del vehículo con la optimización mejora de forma cuantitativa en un porcentaje, respecto al SOC de la batería de este vehículo cuando tiene una estrategia de control de fábrica.

2.2 Antecedentes Internacionales

Araujo (2015), en la universidad Internacional del Ecuador, en su estudio realizado, en el que Concluye “Se comprobó la función y funcionamiento del sistema de freno regenerativo del Toyota prius, así mismo se verificaron y comprobaron los valores de diferentes sensores que conforman el control y funcionamiento del sistema de freno regenerativo, también se determinó que como una desventaja del sistema de freno regenerativo no se activa mientras se genere un código en el sistema híbrido así mismo se analizó como desventaja que la desactivación del freno regenerativo produce que el motor de combustión interna trabaje con mayor frecuencia para mantener cargada a la batería, también se corroboró como una ventaja que el sistema de freno regenerativo al aprovechar la energía cinética optimiza recursos, y de manera especial en el tránsito vehicular de la ciudad así mismo se evaluó el aporte del sistema determinando que con el aporte de los frenos regenerativos, se disminuye el desgaste de los frenos mecánicos, disipamos menos calor y aprovechamos la energía de una forma más eficiente ”.

Castillo (2011), en la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga de Ecuador, en su estudio realizado, en el que Concluye: “Se comprobó que los vehículos híbridos si representan una alternativa al momento de reducir las emisiones contaminantes, especialmente cuando se encuentran circulando en ciudad, ya que los motores eléctricos pasan más tiempo encendidos así mismo de acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de desempeño se pudo constatar que debido a las condiciones de carretera existentes en la Sierra, los vehículos híbridos logran reducir en mínimas cantidades las emisiones generadas ya que el motor de combustión interna pasa a funcionar más tiempo”.

Hernández (2016), en el Instituto Politécnico Nacional de México, en su estudio realizado, en el que Concluye: “El objetivo general planteado al inicio de este trabajo, propone realizar el análisis y control del sistema de freno regenerativo de un automóvil híbrido, específicamente el control del motor eléctrico, ya que es la fuente de energía y propulsión del mismo, así como caracterizar los parámetros que describen el comportamiento y rendimiento del vehículo durante su funcionamiento. De acuerdo a lo anterior se puede señalar que estos fueron satisfechos de acuerdo a la metodología propuesta en este trabajo”.

Jurado (2016), en la Universidad Tecnológica Equinoccial de Quito, en su estudio realizado, en el que Concluye “El sistema híbrido puede tener muchos sistemas que unidos forman un solo conjunto encargado de minimizar las emisiones contaminantes, por lo cual es importante el conocimiento previo de cada uno de ellos antes de manipularlos”.

Monosalvas (2018), en la Universidad Central del Ecuador Facultad de Filosofía Letras y Ciencias de la Educación Carrera de Mecánica Automotriz, en su estudio realizado, en el que Concluye “El sistema de carga del automotor hibrido Prius es el encargado de distribuir la energía a todo el vehículo en cada uno de sus componentes y el más principal es la batería la misma que proporciona energía y produce unas descargas eléctricas de aproximadamente 220 voltios las cuales son muy perjudiciales para la salud de los técnicos que realizan el mantenimiento; sino llevan el debido procedimiento sistemático, así mismo El motor eléctrico actúa a bajas velocidades y cuando no se exige un rendimiento mecánico elevado el a motor gasolina entra en funcionamiento cuando se aumenta la velocidad o se solicita más potencia”.

2.3 Sustento Teórico

2.3.1 Historia Propulsión de Vehículos Híbridos

En la segunda mitad del siglo XIX se tenía la necesidad cada vez mayor de un vehículo mecánico que pudiese transitar por las calles. La invención del vehículo de vapor fracasó por ser una máquina muy pesada y de difícil conducción. El nacimiento del vehículo llegó gracias al invento de Dunlop, las llantas neumáticas, pero también se necesitaba de un motor. Esta exigencia se cumplió con la aparición del motor eléctrico, una vez solucionados los problemas de la generación de corriente y su distribución. En 1899 el Dr. Ferdinand Porsche, entonces un joven ingeniero y Jacob Lohner, construyen el primer vehículo híbrido.

Figura N° 2.1: Primer Vehículo híbrido

Fuente: (Bojko J., 2004)

El Lohner-Porsche de gasolina-eléctrico 'Mixta' utilizaba un motor de gasolina que giraba a una velocidad constante para impulsar un dinamo que cargaba un banco de acumuladores. Estos, a su vez, alimentaban a los motores eléctricos de corriente contenidos en los cubos de la parte delantera. Entonces no había necesidad de ejes de transmisión. Cuando apareció por primera vez en la Exposición Mundial de París, el 14 de abril de 1900, el Lohner-Porsche con motor eléctrico asombró al mundo del automóvil y fue una auténtica novedad para los fanáticos del automóvil de la época. Durante 1902 un utilitario híbrido en serie compitió contra el vapor y los coches a gasolina en una prueba de fiabilidad de Nueva York a Boston.

En 1905 Piper presentó una patente para un vehículo híbrido eléctrico-gasolina. Su idea era utilizar un motor eléctrico para ayudar a un motor de combustión interna, principalmente para ayudar al Motor de Combustión Interna para permitir que el

vehículo acelere a 40 kilómetros por hora en 10 segundos, en lugar del habitual 30 km/h. La patente de Piper se publicó, tres años y medio más tarde, los motores ya se habían convertido en lo suficientemente potentes como para lograr este tipo de adecuación por su cuenta. Y más aún el costo de las gasolinas y sus avances permitió un aumento en la producción general de automóviles por parte de Henry Ford, logrando poco a poco acabar con los vehículos híbridos. Una notable excepción se da en 1921 con el Owen magnética Modelo 60 Touring, que utiliza un motor de gasolina para funcionar un generador que suministra energía eléctrica a los motores montados en cada una de las ruedas traseras. Los coches híbridos no volvieron a aparecer por varios años durante 1922 – 1965. Fue un durmiente plazo para los coches eléctricos e híbridos producidos en masa.

En 1965 General Motors experimentó con un vehículo híbrido, cuyo nombre en código era GM 512. Tenía un motor de dos cilindros y una combinación de baterías. El coche experimental muy ligero corrió por completo empleando energía eléctrica logrando hasta diez o doce millas por hora. Por encima de esa velocidad se corrió con gasolina, pero sólo pudo alcanzar los 40 kilómetros por hora. No consiguió un mayor desarrollo.

El embargo petrolero árabe de 1973 cambió el pensamiento del automóvil. El aumento del costo de combustible impulsó la investigación y el desarrollo de vehículos más económicos. El Departamento de Energía de EE.UU. realizó pruebas en los vehículos eléctricos e híbridos propuestos por los diferentes fabricantes, incluyendo un híbrido conocido como el "taxi VW". El taxi, que utiliza una configuración híbrida en paralelo que permite la conmutación flexible entre el motor de gasolina y motor eléctrico, conectado a más de 8.000 kilómetros en la carretera, y se mostró en toda Europa y los

Estados Unidos desarrollo un coche híbrido propulsado por un motor de doble cilindro de gasolina de cuatro tiempos 16hp y un motor eléctrico para un total de 26 caballos de fuerza. El tren motriz híbrido de alimentación se suministró a un vehículo de diseño personalizado de dos puertas con seis ruedas, dos delante y cuatro en la parte posterior. Chrysler, siempre a la vanguardia en estilo y tecnología, diseño y construyó un híbrido con motor impulsado a gas natural líquido corrió las carreras de coches en los años 90, con miras a entrar en las carreras de 1995. El objetivo era reunir información y aprender acerca de esta nueva forma de utilizar combustibles alternativos y diferentes conceptos híbridos. El auto de carreras 'Patriot' utilizó una combinación de gas natural licuado (GNL) como combustible alternativo, un motor eléctrico de tracción refrigerado por agua para mover las ruedas traseras.

Ya en 1997 El Toyota Prius se introdujo en el mercado japonés, dos años antes de su fecha de lanzamiento original, y antes de la conferencia de Kyoto del calentamiento global, celebrada en diciembre. Las ventas del primer año fueron casi 18.000. Toyota capturo la sorpresa del resto del mundo con la tecnología híbrida-eléctrica. Mientras América del Norte seguía impulsando los coches eléctricos, y Europa estaba teniendo éxito con casi el 50% de los vehículos nuevos con tecnología Diesel frugal, que no emiten monóxido de carbono.

Audi se convirtió en el primer fabricante de Europa en producir un vehículo híbrido en volumen: el dúo de Audi basado en el A4 Avant. Fue un vehículo accionado por un TDI de 90 caballos de fuerza 1.9 litros en conjunto con un motor de 29 caballos de fuerza eléctrica. Una batería de plomo-gel en la parte trasera almacenaba la energía eléctrica. El

dúo no fue un éxito comercial y por lo tanto se suspendió, lo que provocó que fabricantes europeos de automóviles centren su inversión en los motores diésel. En 1997 – 1999 debido a la alta densidad de vehículos, la contaminación prácticamente obligo a ser más estrictos en la regulación del aire. Los fabricantes de automóviles debían vender un porcentaje fijo de vehículos de emisión cero. Una pequeña selección de coches totalmente eléctricos de los grandes fabricantes de automóviles, incluyendo Honda EV Plus, GM EV1 y S-10 pickup eléctrica, una camioneta Ford Ranger y Toyota RAV4 EV se introdujeron. En pocos años se redujo el entusiasmo, por su alcance limitado y la necesidad de estar enchufado en el caso de los vehículos eléctricos, mientras que los vehículos híbridos no necesitaban ser enchufados. En pocos años, los programas completamente eléctricos fueron retirados.

Al término de 1999 Honda lanzó las dos puertas Insight, el primer coche híbrido que llega al mercado de masas en los Estados Unidos. El Insight ganó numerosos premios y recibió valoraciones de la EPA de 61 mpg en ciudad y 70 mpg en carretera. Alrededor de 2002 Honda presentó nuevamente otro híbrido el Honda Civic Hybrid, el segundo disponible en el mercado. El aspecto y la manejabilidad del Civic Hybrid fue y sigue siendo idénticos a los convencionales Civic. En 2004 El Toyota Prius II ganó entre 2.004 coches los Premios del Año en el Motor Trend Magazine y América del Norte Auto Show. Toyota fue sorprendido por la demanda y se bombea hasta su producción de 36.000 a 47.000 para el mercado de los EE.UU. Los compradores interesados esperan hasta seis meses para comprar el Prius 2004. Mientras que Toyota Motor Sales EE.UU. los llamó "los mejores coches que han tenido". En la actualidad son diferentes los modelos de grandes marcas automotrices como Ford, Toyota, Honda, etc. Cada día la expectativa

crece en cuanto al desarrollo de estos vehículos cada vez más presentes en ciudades y carreteras.

2.3.2 Vehículo Híbrido Eléctrico

los medios de transporte que hoy conocemos han utilizado la gasolina como medio para operar. Debido a la necesidad de reducción de emisiones contaminantes por parte de los vehículos tradicionales y a los elevados costos que los combustibles convencionales han logrado implementar desde hace varios años en los diferentes países nuevas tecnologías, que permita mejorar las condiciones de propulsión del vehículo convencional reduciendo los contaminantes, esta tecnología permite la introducción de los vehículos híbridos en el campo automotriz, la propulsión híbrida es utilizado para referirse a vehículos con más de una fuente de propulsión. La base importante de un vehículo híbrido está dada por un motor de combustión interna que trabaja de forma alternada con un motor eléctrico, este motor puede ser también generador en algunas condiciones y todo el sistema utiliza un paquete de baterías de alto tensión para almacenar carga eléctrica. Esta tecnología es bastante avanzada y permite utilizar la energía cinética del frenado para convertir al motor Generador y restablecer la carga de la batería de alta tensión y se diferencia porque en una será solo el motor eléctrico de dar tracción al vehículo y en la otra serán las dos que entren en combinación tanto el motor eléctrico el motor de combustión interna trabajen conjuntamente para propulsar el vehiculó híbrido eléctrico.

Un vehículo híbrido eléctrico es un vehículo de propulsión alternativa movido por energía eléctrica proveniente de las baterías de alta tensión y, alternativamente, de un motor de combustión interna que mueve un generador. Normalmente, el motor también puede

impulsar las ruedas en forma directa. los motores de combustión interna han propulsado a los vehículos convencionales han sido sobredimensionados para un uso habitual.

En general un vehículo híbrido funciona como convencional al que se le ha unido un motor eléctrico de imanes permanentes, baterías de alta tensión el cual es la unidad de almacenamiento de energía. El motor eléctrico es el que ayuda al motor de combustión interna cuando requiera más potencia o solo mover el vehículo con el motor de combustión desconectado. Si se genera más energía de la necesaria, el motor eléctrico se usa como generador y carga las baterías del sistema. En otras situaciones, funciona sólo el motor eléctrico, alimentándose de la energía guardada en la batería.

Un vehículo híbrido eléctrico, utiliza una combinación de dos fuentes de energía para su movimiento, en marcha constante impulsa el tren motor como al motor eléctrico, en los adelantamientos la potencia se obtiene del motor eléctrico alimentado por las baterías de alta tensión y en las frenadas el motor eléctrico actúa como generador de energía al recuperando la energía cinética, y cuando circula a bajas velocidades el motor eléctrico impulsa al vehículo y al parar el motor de combustión se apaga no consumiendo combustible, de este modo este vehículo utiliza o alterna ambas fuentes de energía para su movimiento de una forma normal y que no hay diferencia con un vehículo tradicional es decir a veces funciona en modo eléctrico y otras en combinación eléctrica y térmica, deben seleccionar su potencia requerida y que tipo de propulsión deben utilizar para ponerlo en movimiento en las carreteras y el vehículo híbrido repartirá la forma de trabajo entre ambas combinaciones. Este vehículo utiliza su propia regeneración de energía que se produce al bajar la velocidad al momento de frenar el vehículo y este vehículo híbrido aprovecha este tipo de energía para cargar energía en las baterías que lleva dentro del

vehículo convertido. Los vehículos híbridos eléctricos no necesitan una carga externa de energía eléctrica, por lo que no tienen los problemas de autonomía. El único abastecimiento que necesita es combustible.

2.3.3 Características del Sistema Híbrido

Tener dos fuentes de energía diferentes logra compensar las deficiencias de cada una y así obtener eficientes rendimientos, estos sistemas híbridos surgieron a partir de la necesidad de reducir las emisiones contaminantes generadas por los sistemas convencionales y el costo de los combustibles derivados del petróleo. La tecnología híbrida permite mejorar las condiciones de propulsión con un menor consumo de combustible y elementos contaminantes de los tubos de escapes de los vehículos convencionales. Los sistemas híbridos funcionan con gasolina; sin embargo, consumen menos que un Diésel y por lo tanto emite menos contaminantes como el CO₂.

En el desarrollo de implementar nuevas tecnologías en vehículos híbridos ha tenido una aceptación muy favorable. Por una parte, la necesidad, de tener vehículos cada vez más limpios con el medio ambiente ha impulsado el desarrollo de soluciones innovadoras y eficaces para reducir el uso de fuentes de energía no renovables y contaminantes. Una de estas soluciones han sido los vehículos híbridos. Dentro de las tecnologías híbridas el motor de combustión interna utilice combustibles menos contaminantes que la gasolina. Aunque los sistemas híbridos basan su funcionamiento en un motor eléctrico; su característica de funcionamiento es que este motor eléctrico no requiere de carga externa. El sistema híbrido recupera la energía cinética, al momento de frenar, la misma que se disipa en forma de calor en los frenos, convirtiéndola en energía eléctrica; esto tiene el

nombre de freno regenerativo. Dentro de los elementos más importantes de un sistema híbrido está el motor de combustión interna, el inversor, la batería de alto voltaje (HV) y la transmisión híbrida, la misma que posee en su interior el motor eléctrico y los motores generadores. Las características más importantes en el funcionamiento de los sistemas híbridos son las siguientes:

2.3.3.1 Ahorro de energía

El sistema detiene automáticamente la marcha del motor térmico, cuando este se encuentra en vacío (ralentí), reduciendo así la energía que normalmente se perdía.

2.3.4.1 Recuperación de energía

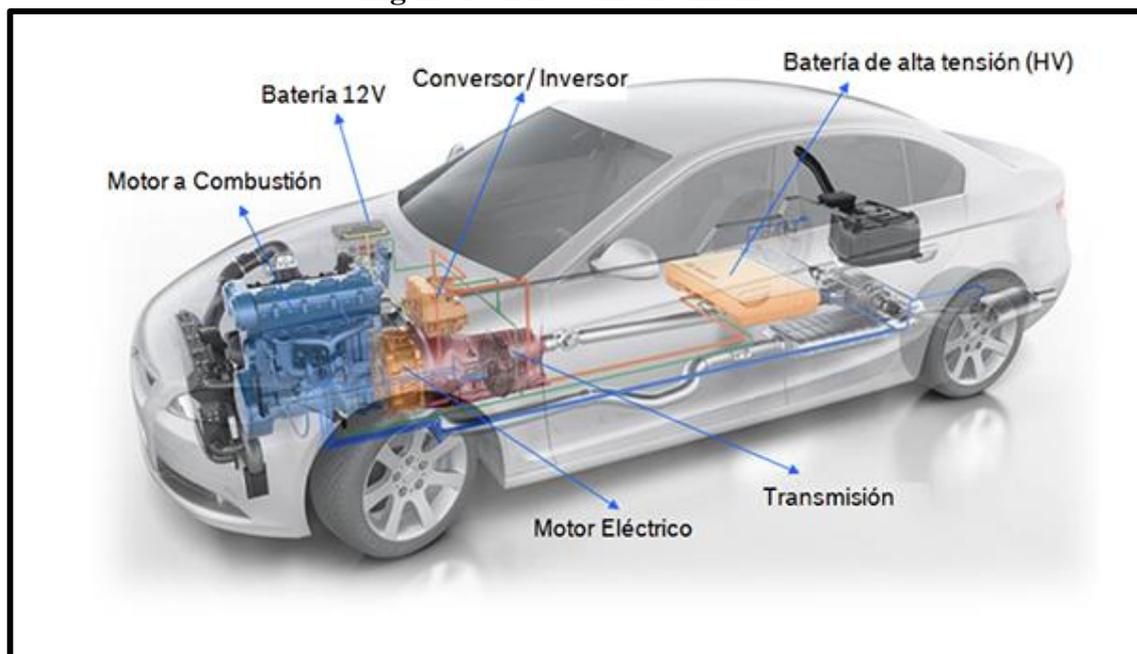
La energía que pierde en forma de calor durante la desaceleración y la frenada se recupera como energía eléctrica, la cual luego se utiliza para energizar el arranque y el motor eléctrico.

2.3.4.1 Apoyo al motor de combustión interna

El motor eléctrico asiste al motor de combustión interna durante la aceleración.

2.3.4.1 Eficiencia

Este sistema posee máxima eficiencia, ya que el motor eléctrico es el encargado de hacer funcionar el sistema en condiciones en la que la eficiencia del motor térmico es baja, y la generación de energía eléctrica tiene lugar en condiciones en la que la eficiencia del motor de combustión interna es alta. Por lo tanto, esto proporciona una alta eficiencia y rendimiento.

Figura N° 2.2: Vehículo Híbrido

Fuente: (Riquero, 2016)

2.3.4 Autonomía de los Vehículos Híbridos Eléctricos

Los vehículos híbridos eléctricos, tienen dos fuentes motrices para su funcionamiento el motor de combustión interna y uno eléctrico, pueden ser usado de acuerdo a lo que requiera en su movimiento. Esto ocurre de forma automática y sin que el conductor decida cuál debe ser activado. La combinación de ambos motores consigue ahorrar hasta un 30 % del consumo de diésel o gasolina en comparación a los vehículos de combustión tradicionales. la conducción con velocidades altas o adelantamientos el motor eléctrico funciona como soporte al de combustión. De este modo le otorga una fuente energética alternativa que impide un incremento de nuestro consumo de combustibles. la impulsión eléctrica puede funcionar de forma autónoma y sin realizar gasto de combustible hasta un aproximado de 70 km/h cuando circulamos a una velocidad baja o moderada, en tramos urbanos y similares. El motor de combustión interna se irá encargando de recargar el acumulador eléctrico mediante los frenos regenerativos y nuestra autonomía dependerá de las gasolineras.

Ahora realizaremos una tabla resumen con la cual podemos analizar los datos investigados y obtenidos para así poder tener un panorama mejor. Entonces según información proporcionada por Toyota del Perú tenemos que la eficiencia del Toyota siendo este un vehículo convencional, es de un 26.9 %, teniendo este una eficiencia mayor a la eficiencia promedio de vehículos convencionales, la cual no llega a estar cerca a la eficiencia del Toyota Prius C la cual es de un 33.7%, la cual también es mayor al promedio de eficiencia de los vehículos híbridos. (Higa Tsukazan 2018).

Con el anterior resumen podemos obtener el siguiente análisis:

- En relación a estos dos vehículos en específico, el Toyota Prius C tiene una mayor eficiencia en comparación al Toyota convencional.
- Los vehículos híbridos en comparación a un vehículo convencional, son más eficientes (solo 5% de diferencia) pero aun así no se acercan a la eficiencia de un vehículo eléctrico recargado con fuentes de energía renovables (75%).

Consumo Específico de Combustible

- Toyota Convencional: Según el consumo de un Toyota convencional es de 3.1gal/100mi y para efectos de nuestros cálculos lo transformaremos a gal/100km ya que son las unidades a las que estamos habituados, una milla es igual a 1.61 km, por lo tanto:

$$3.1\text{gal}/100\text{mi} = 1.94\text{gal}/100\text{km}$$

- Toyota Prius: El consumo de Toyota Prius C es de 1.9gal/100mi y para efectos de nuestros cálculos lo transformaremos a gal/100km ya que son las unidades a las que estamos habituados, una milla es igual a 1.61 km, por lo tanto:

$$1.9\text{gal}/100\text{mi} = 1.18\text{gal}/100\text{km}$$

En conclusión, el Toyota Prius C en promedio tiende a consumir 0.48 gal/100km menos que le Toyota Yaris que es un ahorro del 30% en combustible. Ahora, el peruano promedio al año recorre aproximadamente, según The Economist Pocket World in Figures edición 2015, un total de 22381 km, ocupando el tercer lugar a nivel mundial. Con lo cual podemos calcular lo siguiente:

Tabla N° 2.1: Consumo Anual de Combustible

	Recorrido Anual: 22381 km
Vehículo Convencional (1.60gal/100km)	358.10 gal/año
Toyota Prius C (1.12gal/100km)	250.67 gal/año

Elaboración Propia

Performance

Para entender bien este punto de nuestra tesis tendremos que primero definir bien lo que son Torque (Par Motor) y Potencia, parámetros que muchas veces se confunden o se cree que son lo mismo.

Torque

Se puede entender como la fuerza generada por la combustión hacia el pistón, y de este hacia las bielas y cigüeñal, y así hasta llegar al diferencial del vehículo y de este hasta las ruedas, provocando así un par de torsional. Gráficamente, se puede representar por una curva que nos muestra el torque a través de las revoluciones del motor, generalmente nos muestra como a medida que las RPM de un vehículo aumentan, aumenta el torque

hasta llegar a un punto máximo en el cual el toque empieza a disminuir. Para entender bien este punto de nuestra tesis tendremos que primero definir bien lo que son Torque (Par Motor) y Potencia, parámetros que muchas veces se confunden o se cree que son lo mismo.

Tabla N° 2.2: Torque Máximo de los Vehículos

	Toyota convencional	Toyota Prius C
Torque máximo	121 N.m a 4400 rpm	142 N.m de 2800 a 4400 rpm

Elaboración Propia

Esto nos quiere decir que a una menor velocidad el Prius C puede proporcionar mucho más Torque que el convencional Yaris, con lo que podremos obtener una mayor potencia, y esto a su vez nos dará mayores beneficios. Lo cual lo comprobaremos más adelante en la comparativa de las curvas características de ambos vehículos.

Potencia

El vehículo al momento de moverse se desplaza a través de un fluido, que vendría a ser el aire, ofrece una resistencia la cual depende de algunos factores como: Velocidad, área frontal de vehículo y un coeficiente aerodinámico. Ahora también tenemos la fuerza de aceleración la cual está definida por la masa del vehículo y la aceleración de este. Estas dos fuerzas, la Fuerza de resistencia aerodinámica y la Fuerza de aceleración, vendrían a ser la Fuerza total que debe suministrar el motor para poder acelerar o mantener una velocidad.

- La potencia depende directamente de la velocidad del vehículo, a mayores rpm podremos obtener una potencia máxima.

- A menor velocidad, hay una menor resistencia aerodinámica por lo tanto el vehículo tiene mayor fuerza de aceleración.
- A mayor velocidad, hay una mayor resistencia aerodinámica por lo tanto el vehículo pierde la fuerza de aceleración, con lo cual se alcanza también la potencia máxima y se pierde el poder de aumentar de velocidad o acelerar.

En resumen, obtendremos la potencia máxima de un vehículo a su máxima velocidad, tenemos la potencia máxima de ambos vehículos:

Tabla N° 2.3: Potencia Máxima de Ambos Vehículos

	Vehículo convencional	Toyota Prius C
Potencia máxima	63 kW a 6000 rpm	73 kW a 5200 rpm

Elaboración Propia

2.3.5 Vehículos Híbridos Eléctricos y Normatividad en el Perú

Dentro de los antecedentes en el Perú hay vehículos híbridos eléctricos, dos específicamente: uno se llama Prius C y es de Toyota, el otro se llama y pertenece a Mitsubishi. El primero ya se comercializa en el país desde abril del año pasado, y el segundo está en una fase que se podría llamar de prueba, porque su venta en el mercado local aún no es posible.

- El Toyota Prius C es el primer auto de estas características en ingresar al país, aunque estrictamente se trata de un vehículo híbrido, es decir, funciona con un motor de combustión de 1.5 L y 73 hp, y uno eléctrico de 61 hp. Este vehículo tiene un excelente consumo de combustible y un rendimiento envidiable de 133 km por galón. Toyota ofrece este auto con un equipamiento normal a cualquier otro, ya sea en seguridad, comodidad y entretenimiento. Su precio para su única versión en Perú es

US\$27,800. Actualmente, la Municipalidad de Miraflores y la empresa Edelnor la tienen en fase de prueba.

- En resumen, el Toyota Prius C es el único auto eléctrico en venta en el Perú.

En nuestro país, el parque automotor está compuesto aproximadamente de 2.5 millones de vehículos a nivel nacional, según datos estimados por la Asociación Automotriz. Ello genera a que el 70% de contaminación en el aire, principalmente, de los vehículos de motores de combustión interna que funcionan para su transporte “

El congreso de la república propone “ley que declara de interés nacional y necesidad pública la promoción del uso de vehículos híbridos, así como la implementación de la infraestructura adecuada para su utilización”. Esto es un incentivo para comprar estos autos y debido a su menor contaminación, queremos avanzar con los autos híbridos eléctricos, estamos viendo una serie de cambios normativos que promuevan el uso de estos vehículos híbridos que contaminan menos. El poder ejecutivo podrá establecer beneficios económicos motivando la utilización de los vehículos híbridos beneficiando así al medio ambiente. La presente iniciativa legislativa está enmarcada en el artículo 2º, numeral 22 de la Constitución Política del Perú, que a la letra dice: A la paz a la tranquilidad al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida, toda vez que vivimos en un ambiente contaminado que trasciende negativamente en el medio en que vivimos. Si bien es cierto, todos tenemos derecho a vivir en un ambiente saludable a gozar de un ambiente adecuado, pero en la praxis no se da en gran amplitud, puesto que la contaminación en el país es muy elevada, viéndose afectada gravemente nuestra salud, debido a la presencia de metales pesados, que causan daño grave, afectando al sistema respiratorio dañando así a las células que recubren los pulmones, produciendo asma,

bronquios, etc., reduciendo así significativamente la resistencia respiratoria a las infecciones

2.3.6 Configuración de Vehículos Híbridos Eléctricos

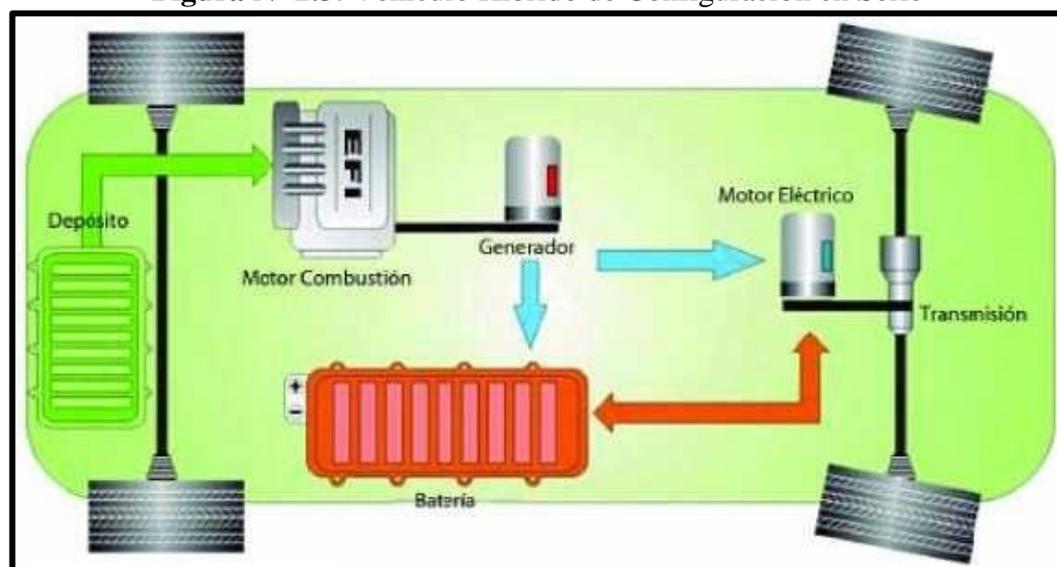
Un vehículo híbrido eléctrico es aquel que para su propulsión utiliza una combinación de dos fuentes de energía diferentes, que combina un motor de combustión interna y otro un motor eléctrico. Se busca encontrar la mayor eficiencia de recuperación de energía utilizando los frenos regenerativos y este uso nos lleva a la utilización de menor consumo energético y menores gases contaminantes como el CO₂. Existen dos diferentes formas de montar los sistemas: la configuración en serie y la configuración en paralelo.

2.3.7 Configuración de Vehículo Híbrido Eléctrico en Serie

En los sistemas de configuración en serie del vehículo híbrido su funcionamiento es de la siguiente manera: el vehículo es impulsado solo por el motor eléctrico que suministra la fuerza motriz y cuya energía es provista por baterías o por un generador conectado al motor de combustión interna, el cual arrastra a un generador eléctrico en ese instante las baterías de alta tensión actúa como acumulador de energía y cuando está cargada su límite desconecta temporalmente el motor de combustión interna y el vehículo se impulsa totalmente en tracción eléctrica. La salida mecánica del motor térmico se convierte en energía eléctrica mediante un generador, la energía convertida cargara las baterías o impulsara las ruedas a través del motor eléctrico el cual funcionara de acumulador de energía en el frenado llamados frenos regenerativos. En esta configuración en serie el motor térmico da movimiento a un generador y esta carga las baterías y suministra potencia al sistema de propulsión con el motor eléctrico y reduce la demanda de batería.

El generador es un amplificador de suministros por lo que la mayoría de los kilómetros recorridos se circula con las baterías. Cuando las baterías gastan su energía el generador se enciende, y este se usa de nuevo para recorridos largos y se conectan automáticamente para volver a cargar las baterías. El motor de combustión interna mueve al generador eléctrico a un alternador trifásico que recarga baterías y rectifica la corriente y alimenta a los motores para dar movimiento al vehículo y trabaja en velocidades altas y velocidades bajas y esta energía proviene de las baterías y esta da potencia para diferentes aceleraciones de manejo. El rango de velocidades que requiere el generador debe ser mayor velocidad. Se necesita sistemas de generación muchos mayores. La batería se dimensiona en función de los picos de demanda. Así, a altas velocidades, sólo parte de la energía proviene de las baterías, siendo éstas las que suministran la potencia necesaria para aceleraciones y adelantamientos. la potencia generada en exceso se utiliza para recargar las baterías. Este sistema resulta eficiente si el 80% de los kilómetros recorridos son alimentados por la energía de las baterías que se han recargado. Este tipo de propulsión híbrida utiliza la energía eléctrica de las baterías que proviene en realidad de la combustión del motor térmico.

Figura N° 2.3: Vehículo Híbrido de Configuración en Serie

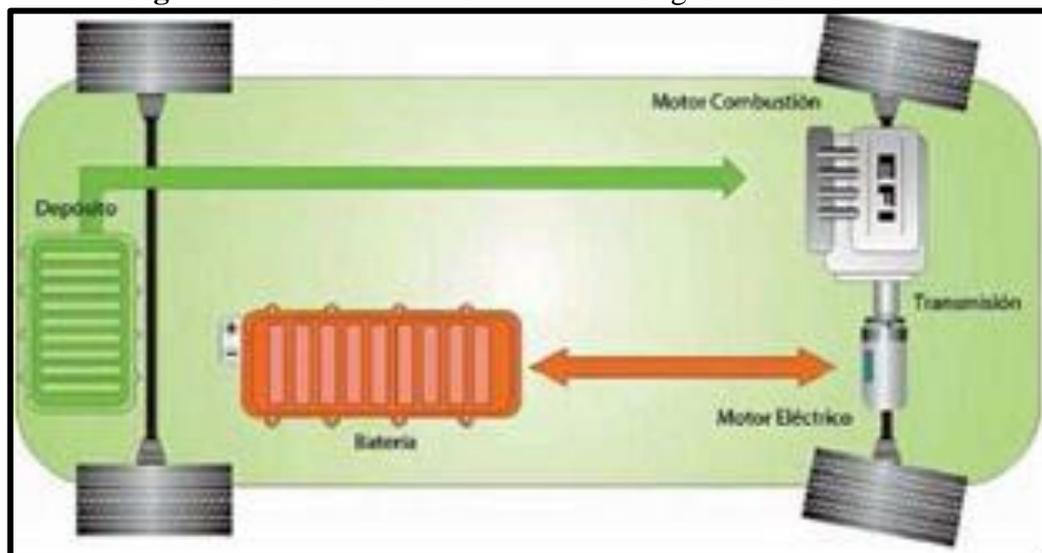


Fuente: (Castillo, 2011)

2.3.8 Configuración de Vehículo Híbrido Eléctrico en Paralelo

La configuración del vehículo híbrido en paralelo su funcionamiento es muy diferente, tanto el motor de combustión interna como el motor eléctrico trabajan conjuntamente es decir utilizan la transmisión para impulsar a las ruedas y son más potentes. Es una solución relativamente sencilla. Este tipo de vehículo híbrido utiliza dos sistemas de tracción en paralelo. Según esta configuración ambos proveen de potencia a las ruedas de modo que los dos sistemas pueden ser utilizados independientemente o simultáneamente para obtener una potencia máxima. Aunque mecánicamente más complejo. Además, como los picos de demanda de potencia le corresponden al motor de combustión interna, las baterías pueden ser mucho menores.

Figura N° 2.4: Vehículo Híbrido de Configuración en Paralelo



Fuente: (Álvarez, 2016)

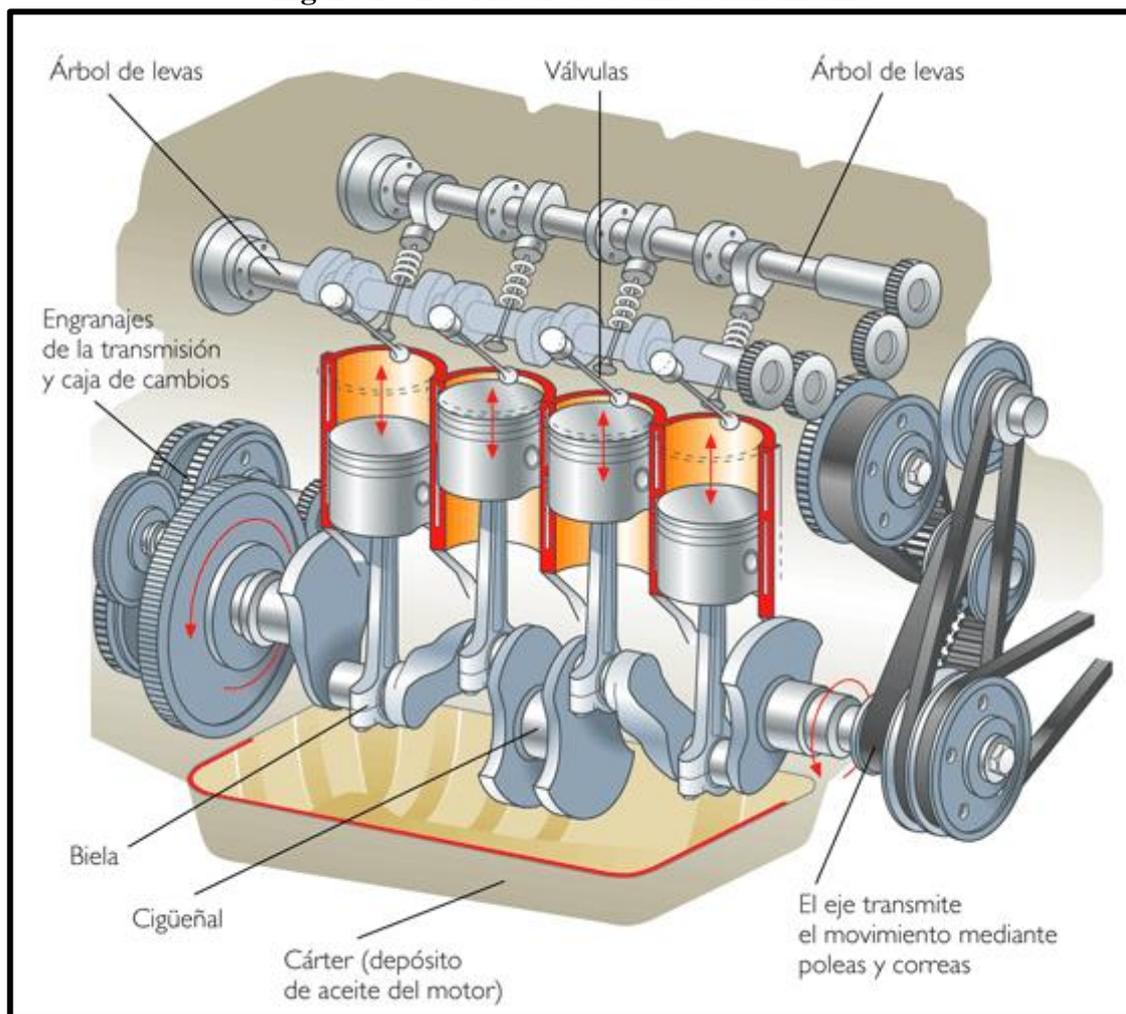
2.3.9 Componentes Principales del Vehículo Híbrido

2.3.9.1 Motor de Combustión Interna

Los vehículos híbridos poseen un motor de combustión interna para su funcionamiento, que permite convertir la energía química generada en la combustión de un

combustible diésel-gasolina en energía mecánica. Esta energía mecánica es aprovechada para mover las ruedas o para generar energía eléctrica. Esta potencia se requiere como en aceleraciones a fondo, subida de grandes pendientes con gran carga del vehículo y a gran velocidad. El hecho de que la mayoría del tiempo dicha potencia no sea requerida supone un desperdicio de energía.

Figura N° 2.5: Motor de Combustión Interna



Fuente: (Álvarez, 2016)

Estos motores de combustión interna están entre los 60CV y 180cv de potencia máxima, tiene un funcionamiento en un ciclo de cuatro tiempos, también es conocido como motor Otto o de pistones, debido a su inventor Nicolaus August Otto. Este tipo de motor es uno de los más utilizados en los vehículos híbridos. El motor diésel llamado también así en

honor al Ingeniero alemán Rudolf Diésel, este motor funciona diferente puede consumir gasolina o diésel, pero en vehículos híbridos se usan solo motores de cuatro tiempos se realiza a través de cuatro tiempos que son: admisión, compresión, expansión y escape.

Primer Tiempo: Admisión

El pistón desciende con la válvula de admisión abierta, aumentando la cantidad de mezcla (aire y combustible) en la cámara. (Expansión a presión constante puesto que al estar la válvula abierta la presión es igual a la exterior). E-A.

Segundo Tiempo: Compresión

El pistón asciende comprimiendo la mezcla, ambas válvulas permanecen cerradas (Compresión adiabática). A-B. Combustión. Con el pistón en el punto muerto superior, salta la chispa de la bujía, que inicia la combustión de la mezcla a volumen prácticamente constante (ya que al pistón no le ha dado tiempo a bajar). B-C.

Tercer Tiempo: Expansión

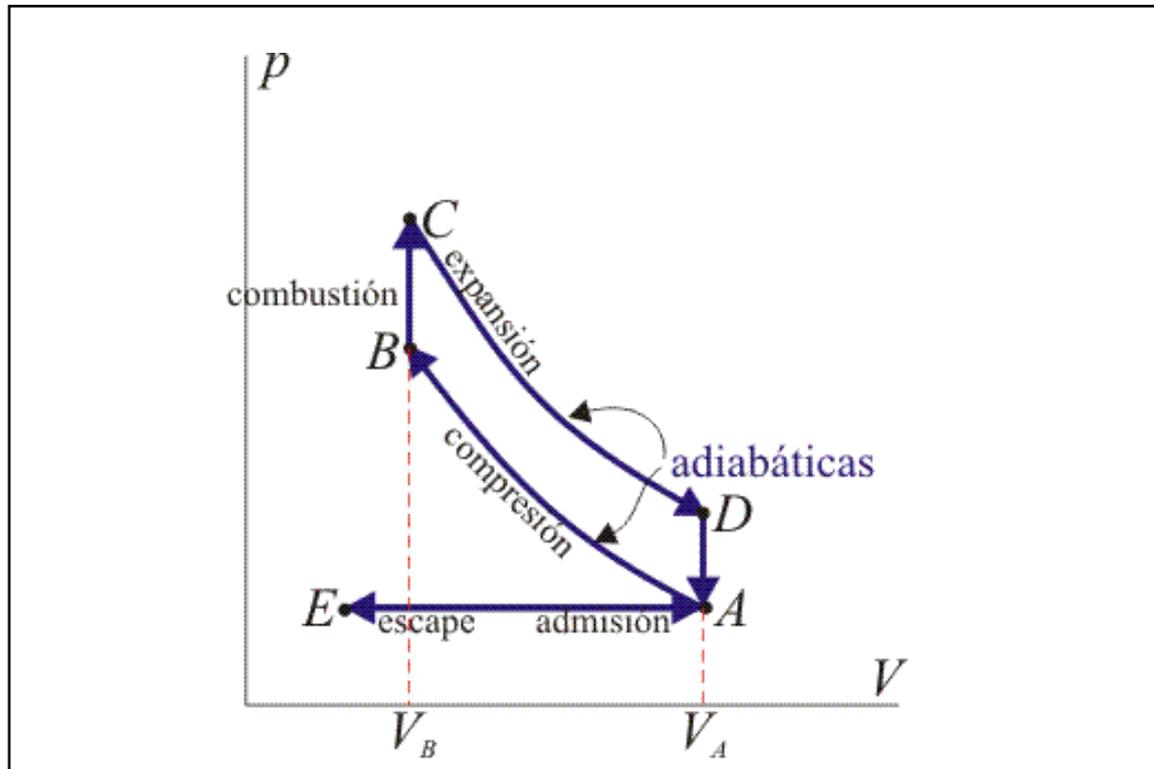
Debido a la combustión se produce un ascenso brusco de temperatura que empuja al pistón hacia abajo, realizando trabajo sobre él, las válvulas continúan cerradas. (Expansión adiabática). C-D.

Cuarto Tiempo: Escape

Se abre la válvula de escape y el gas sale al exterior, empujado por el pistón a una temperatura mayor que la inicial, siendo sustituido por la misma cantidad de mezcla fría en la siguiente admisión. El sistema es realmente abierto, pues intercambia masa con el exterior. No obstante, dado que la cantidad de aire que sale y la que entra es la misma podemos, desde el punto de vista del balance energético, suponer que es el mismo aire, que se ha enfriado. Este enfriamiento ocurre en dos fases. Cuando el pistón se encuentra en el punto muerto inferior, el volumen permanece aproximadamente constante D-A.

Cuando el pistón empuja el aire hacia el exterior, con la válvula abierta, A-E, cerrando el ciclo.

Figura N° 2.6: Ciclo Otto



Fuente: (Álvarez, 2016)

2.3.9.2 Moto Generadores

El motor eléctrico y su mecanismo de control es uno de los elementos más importantes para el funcionamiento de los sistemas híbridos. La moto – generador debe ser capaz de generar energía eléctrica o de generar potencia mecánica de tal manera que se ajuste rápidamente a las condiciones del funcionamiento del vehículo híbrido y además debe hacerlo de manera que su eficiencia sea elevada. El generador es el que transforma en energía eléctrica el trabajo del motor de combustión interna, también funciona como motor de arranque del motor térmico. En este sistema está compuesto por dos motos generadores trifásicos que trabajan a una tensión máxima de 500VCA y cumplen sus funciones y son llamados MG1 Y MG2. El sistema de moto – generador de los vehículos

híbridos se encuentran denominados como MG1 y MG2. La corriente alterna es lograda a través del inversor, la moto – generador 1 (MG1) es la encargada de generar carga que se distribuye entre la batería y el motor generador 2 (MG2). dos motores generadores trifásicos que trabajan en alta tensión, aún 500 VCA, cada uno de estos cumple con una función muy específica. La moto generadora 2 (MG2) se encarga de alternar con el motor de combustión interna el movimiento de las ruedas, ya sea marcha hacia adelante o marcha hacia atrás (reversa), toda esta condición de funcionamiento es controlada por la unidad de control electrónica del sistema híbrido. El motor – generador MG2 es la de funcionar como generador de corriente para cargar la batería del sistema híbrido. Esta función, para el caso de MG2, solo se cumple cuando el vehículo se encuentra frenando; a esto se le conoce con el nombre de freno regenerativo. Cuando el vehículo comienza a disminuir su velocidad, la moto generadora MG2 toma energía cinética de la disminución de la velocidad y la transforma en energía eléctrica que posteriormente, a través del inversor, servirá para cargar la batería de alto voltaje del sistema híbrido. El freno regenerativo crea energía, y es aprovechada para cargar la batería. Para el arranque del motor de combustión interna se lo puede realizar a través de diferentes estrategias que incorporan la moto – generadores. Ya que los vehículos híbridos no cuentan con un motor de arranque convencional. En la condición de detenido, el arranque lo acciona la moto – generador 1 (MG1), y en movimiento del vehículo híbrido se logra a través de la unión de las dos motos – generadores (MG1 y MG2). Todos los movimientos del vehículo son posibles debido a la acción de un sistema de transmisión el mismo que posee un sistema de engranajes planetarios que relaciona el movimiento del vehículo con el motor de combustión interna y los moto-generadores MG1 y MG2.

Tabla N° 2.4: Especificaciones de Motor Generador 2

► Especificaciones del MG2 ◀

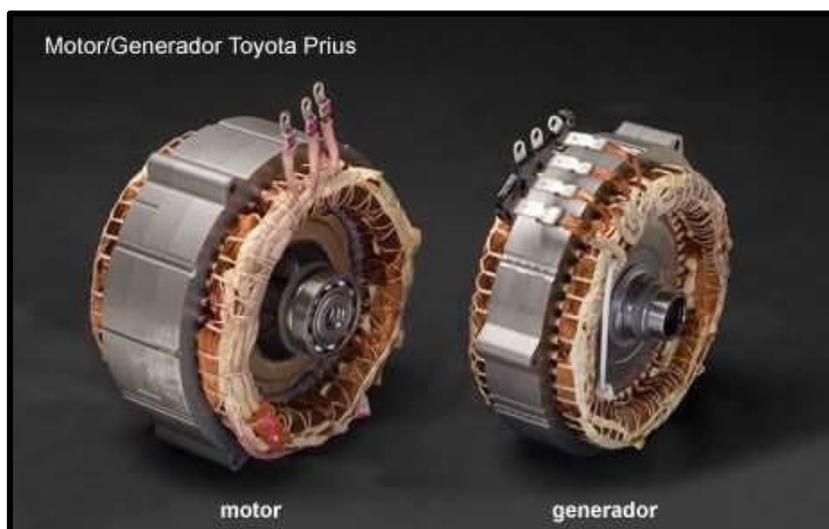
Elemento	Nuevo modelo	Modelo anterior
Tipo	Motor de imán permanente	←
Función	Generación, impulsión de las ruedas	←
Tensión máxima [V]	500 CA	273,6 CA
Salida máxima kW (CV)/rpm	50 (68) / 1200 ~ 1540	33 (45) / 1040 ~ 5600
Par máximo N·m (kgf.m) / rpm	400 (40,8) / 0 ~ 1200	350 (35,7) / 0 ~ 400
Sistema de enfriamiento	Enfriado por agua	←

Fuente: (Toyota hybrid system THSII)

2.3.9.3 Generador

El generador es el elemento que transforma en electricidad el trabajo del motor térmico, y que funciona como motor de arranque del motor térmico, es de corriente alterna síncrono y como máximo gira el doble del régimen del motor de combustión interna. Sirve además para recargar la batería y proporcionar energía eléctrica adicional bajo aceleración fuerte.

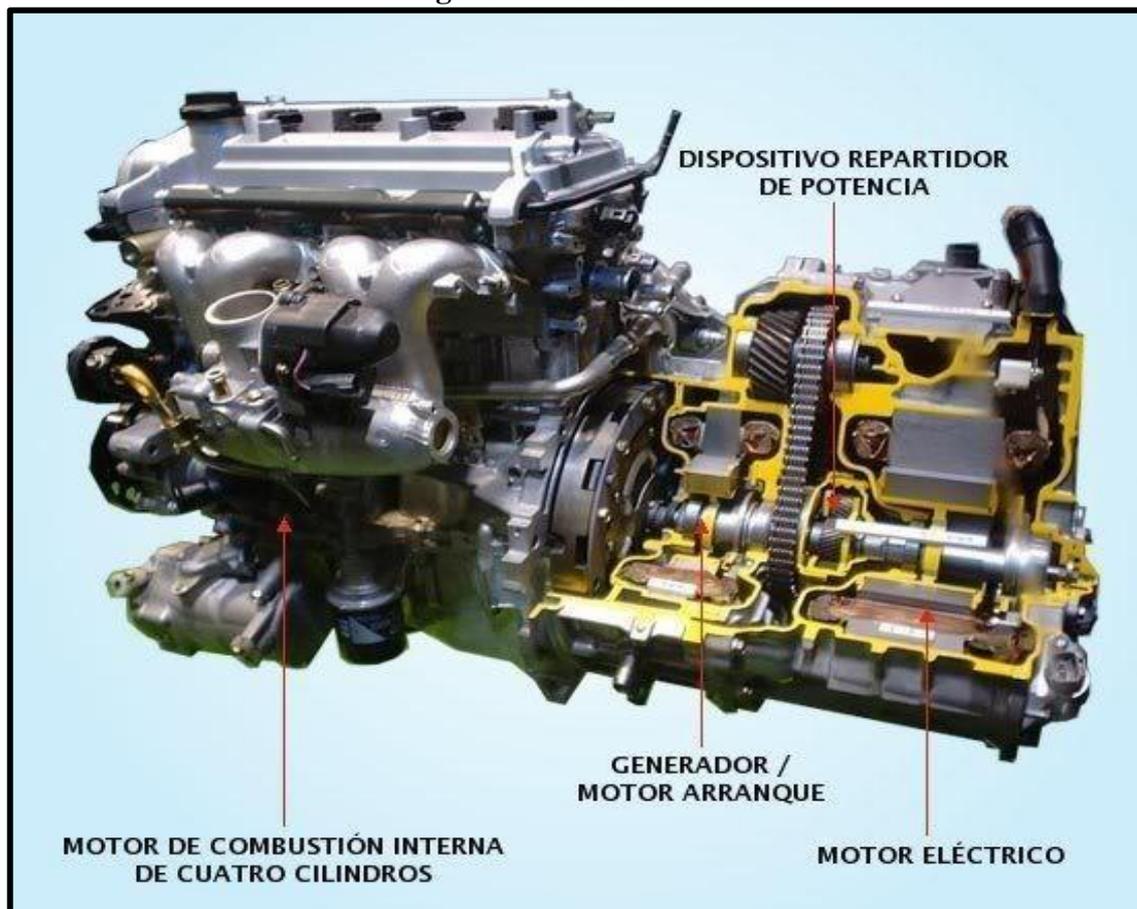
Figura N° 2.7: Generador Vista en Sección



Fuente: (Toyota hybrid system THSII)

El generador es el elemento muy importante que sirve para recargar las baterías de alto voltaje y poner en marcha al motor térmico, también funciona como el motor de arranque del motor de combustión interna. Es de corriente alterna síncrono y gira al doble de régimen como máximo del motor de combustión interna.

Figura N° 2.8: Generador



Fuente: (Toyota S.A., 2009)

2.3.9.4 Motor Eléctrico

El motor eléctrico es síncrono sin escobillas e imanes permanentes de neodimio compactos de poco peso. Está compuesto de un rotor de imanes permanentes y un estator bobinado. Mueve al motor térmico al llegar a una cierta velocidad por si solo cuando es más eficiente en: largada, aceleración suave y frenado. Es también un complemento del motor de combustión interna. Funciona a 500 V y puede dar 50 kW entre 1.200 y 1.540

rpm. Su par máximo es 400 Nm hasta 1.200 r.p.m. La transmisión muy desarrollada que tiene el vehículo hace alcanzar una máxima velocidad de 170k/h y el máximo rpm del motor eléctrico es 1.615 rpm. Pesa 104 kg y según Toyota no hay otro motor eléctrico en que dé más potencia con menos tamaño y peso que éste.

Figura N° 2.9: Motor Eléctrico



Fuente: Toyota hybrid system THSII

2.3.9.5 Inversor

El inversor es la unidad de control de energía que se encarga de transformar y administrar el flujo de electricidad entre las baterías de alta tensión y el motor eléctrico. Convierte la corriente continua de alta tensión de la batería a corriente trifásica para impulsar el MG1. Transforma el voltaje DC que viene de la batería en un voltaje AC para hacer funcionar el motor eléctrico además de convertir de DC a DC. Además, posee la batería híbrida y el freno regenerativo que son responsables de mantener un óptimo desempeño eléctrico del vehículo híbrido. Este componente es la parte principal del vehículo Híbrido,

transfiere la energía que proporcionan las baterías en corriente continua al motor, modificando el voltaje y la señal según las necesidades de éste, que generalmente requiere de corriente alterna. El inversor se encarga también de transformar la energía obtenida por el freno regenerativo para alimentar las baterías. Los inversores generan un número limitado de voltajes. incorpora elementos electrónicos y eléctricos, pero toda la gestión de funcionamiento es controlada por la unidad de control del sistema Híbrido ECU HV, esta última se encarga de controlar al inversor y generar cualquier tipo de diagnóstico, además, posee un convertidor integrado que envía parte de la electricidad del sistema a la batería auxiliar de 12V, y su cableado de alto voltaje es de aluminio. Poseen sensores que cortan la corriente en caso de accidentes o cortocircuitos.

Las etapas que permite controlar las dos motos – generadores (MG1 – MG2).

- Elevar la tensión de 220V aproximadamente a una tensión de 500 VDC aproximadamente esto lo logran con un circuito amplificador.
- Con la tensión de 500VDC y usando la electrónica de potencia generar una corriente alterna en tres fases para conseguir el movimiento de MG1 y MG2 de forma independiente, dentro del inversor se consigue la etapa de potencia, pero el control está a cargo de la unidad de control del sistema HV.
- Permitir invertir la situación de operación del MG1 y MG2 logrando por momentos convertirlos en generadores y llevando esta carga hasta la batería de tensión.
- Utilizando la tensión de la batería de alta tensión, generar una corriente alterna en tres fases, que sean capaz de mover un motor eléctrico que opera el sistema compresor para el Aire acondicionado.

Figura N° 2.10: Inversor*Fuente (Alonso J., 2000)*

2.3.9.6 Baterías de Alta Tensión

Para el funcionamiento del vehículo es necesario que en momentos los moto-generadores sean accionados con carga almacenada en las baterías llamadas también baterías de alta tensión o híbridas, la cual en carga nominal debe tener un mínimo de 220V. Todo este paquete suministra tensión al conjunto inversor y recibe carga de este en condiciones específicas como accionamiento de MG1 o mediante MG2 en el llamado freno regenerativo.

Tabla N° 2.5: Datos de Baterías Híbridas.

Características	Unidad	Pb/Acido	Ni/MH	Li/ion
Energía	Wh/Kg	50	70	120
Potencia	W/Kg	350	180	300
Tiempo de vida	Ciclos	800	1000	1200

Carga rápida	Euros/Kwh	NO	50%-0.5h	Estudio
Reciclabilidad		SI	SI	Estudio
Costo		120	540	700
Rendimiento		0.8	0.75	09

Fuente: (Tecnologías de propulsión híbridas. www.fundacionfitsa.org/)

La batería de alta tensión es de níquel e hidruro metálico de níquel selladas (NI-MH), para acumulación de energía de alta tensión, ofrece gran densidad de energía, menor peso y larga duración de servicio.

Figura N° 2.11: Baterías de Alta Tensión



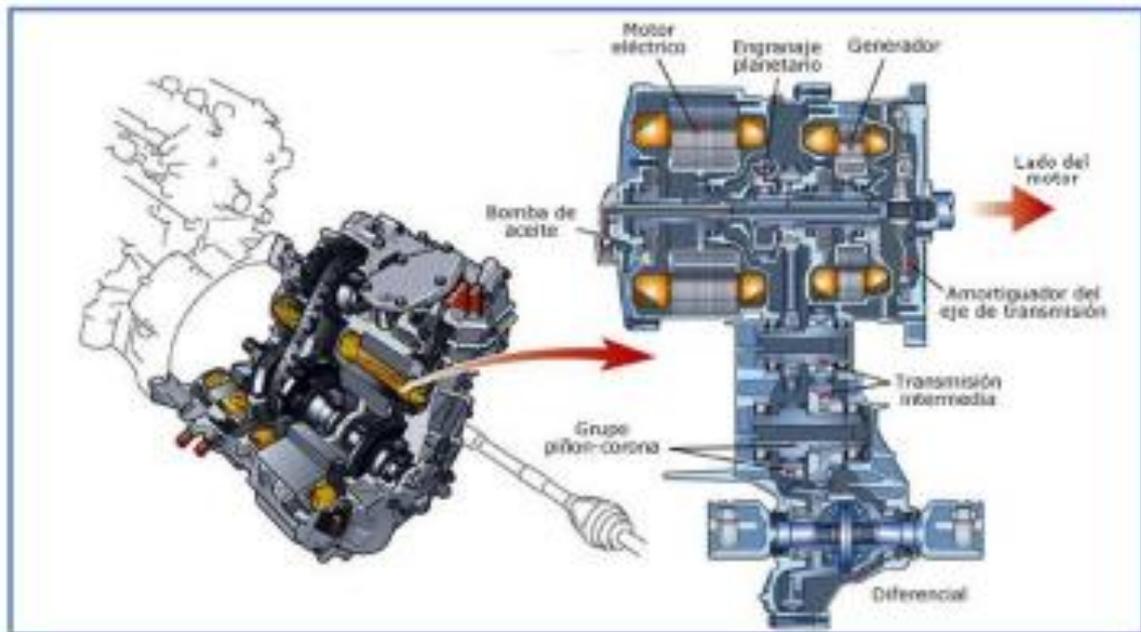
Fuente: (Toyota, Manual de servicio técnico)

2.3.9.7 Transmisión del Vehículo Híbrido

En un sistema de transmisión del vehículo híbrido es el conjunto de mecanismos que permiten transmitir el giro a las ruedas, funciona mediante un sistema de engranajes planetarios, estas se unen al giro del motor de combustión interna, al generador y el motor

eléctrico según las fuerzas que requiera el sistema se modificara el giro entre los impulsores y la transmisión híbrida para el arranque y desplazamiento a cualquier velocidad.

Figura N° 2.12: Esquema Interna de la Transmisión Híbrida



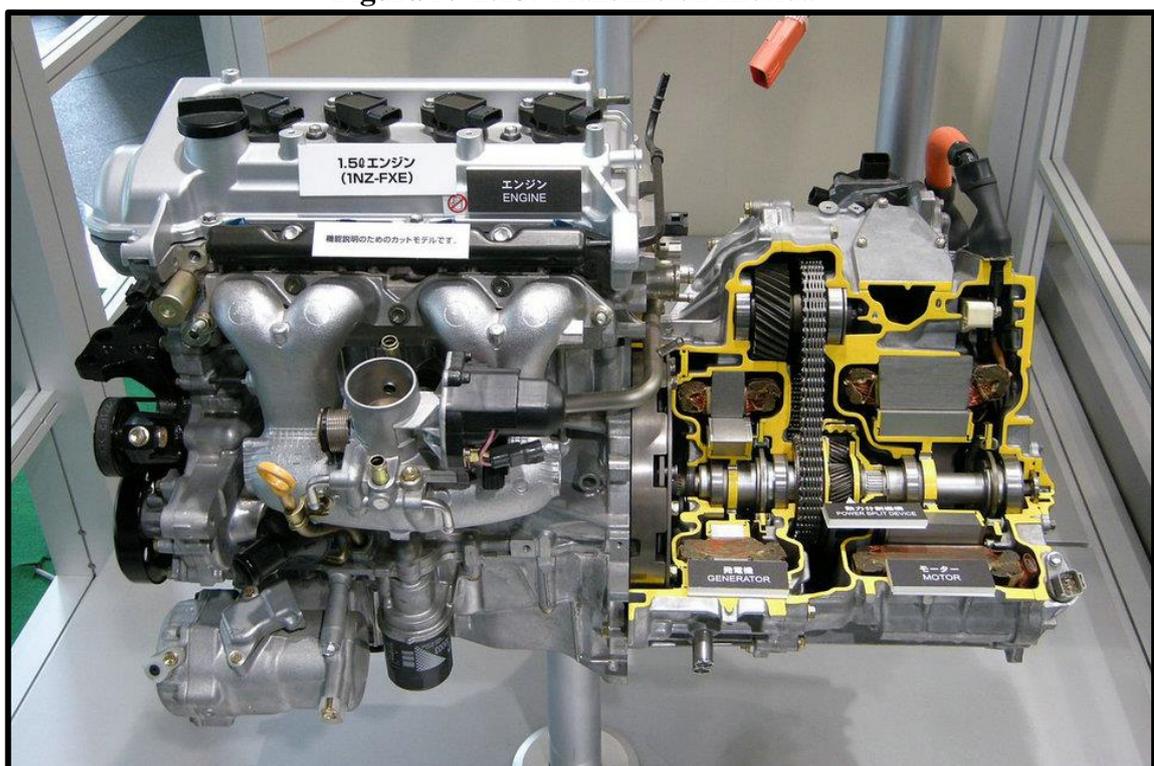
Fuente: (Energía Ingeniería Industria Tecnología Transporte)

No tener una caja de cambios normal aporta ventajas en un vehículo como este:

- a) Para dar potencia a la transmisión se puede usar la propulsión térmica que se da gracias al motor de combustión interna que transforma la energía térmica del combustible utilizado en energía mecánica que transmite al eje para el movimiento del vehículo híbrido.
- b) La potencia entregada a la transmisión se puede usar la propulsión eléctrica para el movimiento del vehículo gracias a un motor eléctrico que transforma energía eléctrica en energía mecánica. La energía proviene de las baterías de alta tensión.
- c) La potencia necesaria para el movimiento del sistema híbrido se da por medio de una combustión de sistema térmico y eléctricos.

Para que funcione con normalidad necesita cumplir varias condiciones que están establecidas en la ECU, esta transmisión no tiene una caja de cambios convencional con distintos engranajes, ni una caja automática de variador continuo con correa, así el motor de combustión interna y los dos moto-generadores están unidos por un solo elemento llamado engranaje planetario el cual nos permite unir la potencia de cada uno de los motores. En el caso en configuración en serie del vehículo híbrido sólo el motor o los motores eléctricos transmiten movimiento a las ruedas. Si usa un solo motor eléctrico es necesario tener un conjunto diferenciador para compensar la diferencia de velocidad lineal de las ruedas.

Figura N° 2.13: Transmisión Híbrida

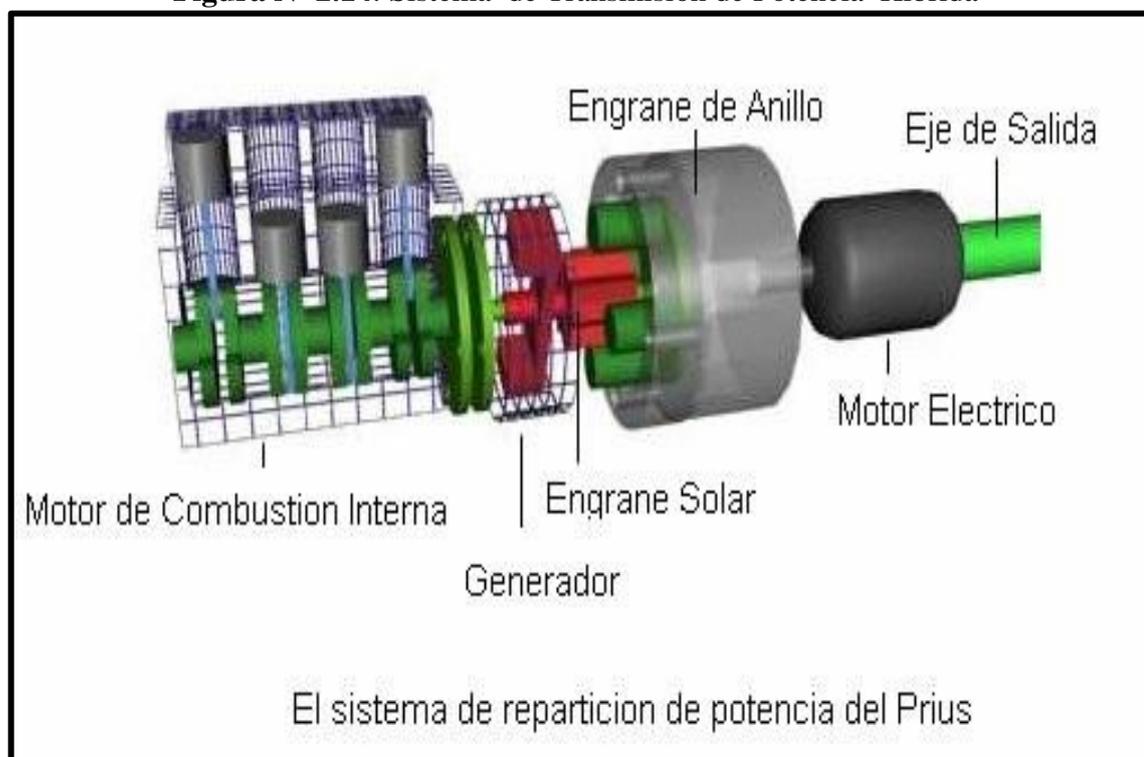


Fuente: Energía Ingeniería Industria Tecnología Transporte

El motor eléctrico y el alternador no es necesario desconectarlos de la transmisión, ya que basta con desconectarle la alimentación con lo que no circulará intensidad por ellos y no producirán par resistente. El motor eléctrico siempre funciona a plena carga, es necesario

un sistema de engranaje planetario (Power Split Device) para que el motor eléctrico se pueda utilizar tanto para arrancar en marcha lenta como para recorrer a gran velocidad. El engranaje planetario posee tres elementos: un planeta o engranaje central, satélites que giran alrededor del planeta, y una corona con un dentado interior al cual también están engranados los satélites. El sistema de división de potencia es el corazón del Toyota Prius, esta es una brillante caja de velocidades que se une al motor de gasolina, el generador y al motor eléctrico; todo junto. Le permite al vehículo operar como un híbrido. El sistema de repartición de potencia le permite al vehículo operar como un híbrido en serie, el motor de gasolina puede operar independientemente de la velocidad del auto, cargando las baterías y suministrando potencia a las baterías si es necesario; también funciona como una transmisión continua variable CVT, eliminando la necesidad de una transmisión manual o automática, finalmente le permite al generador encender al motor.

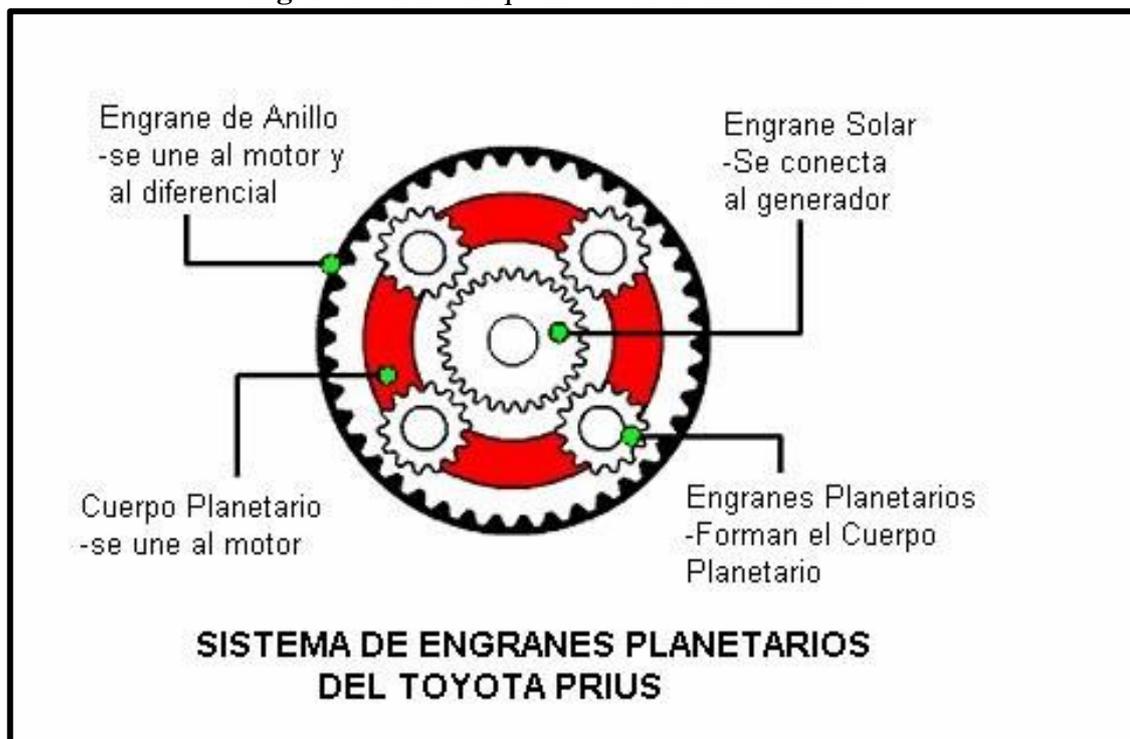
Figura N° 2.14: Sistema de Transmisión de Potencia Híbrida



Fuente: (www.howstuffworks.com/hybrid-car.htm)

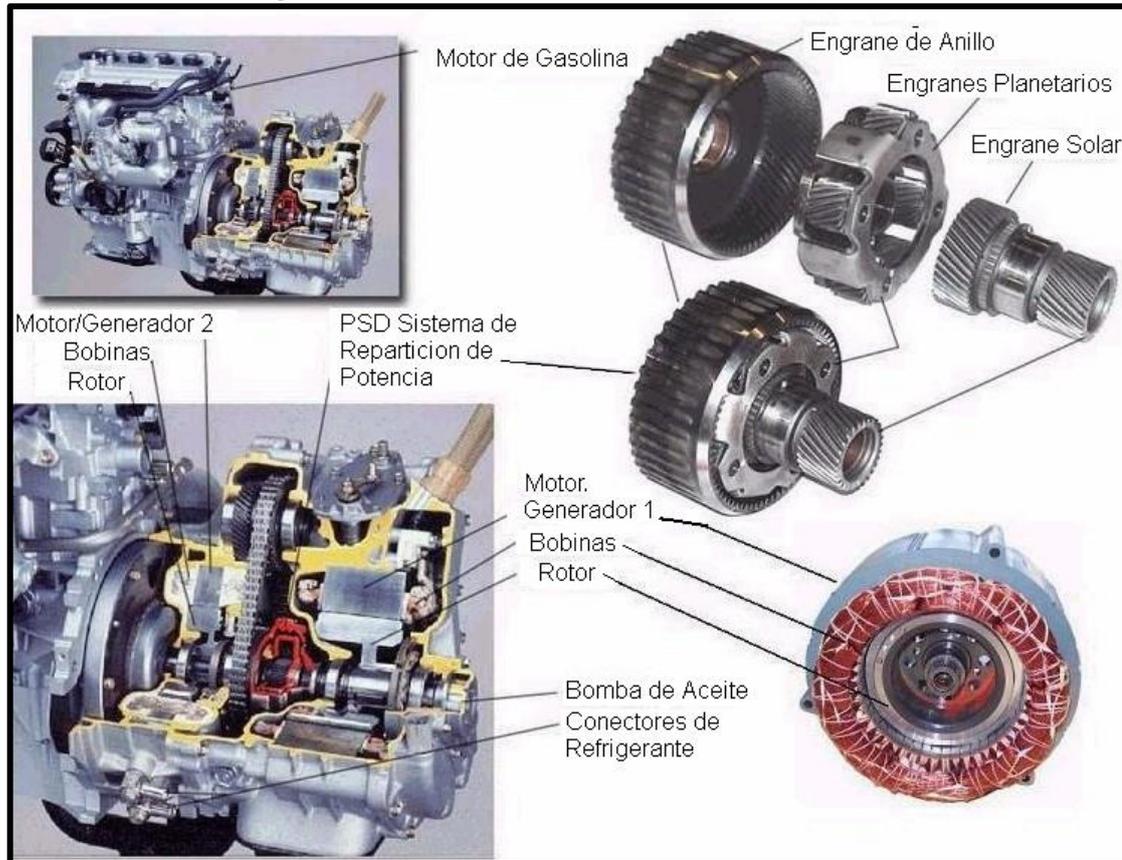
El sistema de división de potencia es básicamente un sistema de engranaje planetario. El motor eléctrico está conectado a un anillo dentado y al juego de engranajes planetarios, también está conectado directamente al diferencial, que propulsa las ruedas, así a cualquier velocidad que el motor eléctrico y el anillo dentado gira a determinada velocidad; determinando la velocidad del vehículo.

Figura N° 2.15: Esquema de Transmisión Híbrida



Fuente: (CISE ELECTRONIC Curso UTN Ibarra 2011)

El generador está conectado al engrane solar del juego de engranes, y el motor está conectado a el conjunto planetario, la velocidad del anillo dentado depende de los tres componentes, por lo tanto, tienen que trabajar juntos para controlar la velocidad de salida.

Figura N° 2.16: Transmisión de Vehículo Híbrido

Fuente: (Toyota Motor Company)

2.3.10 Funcionamiento de la Transmisión Híbrida

a. Motor Generador 1 (MG1)

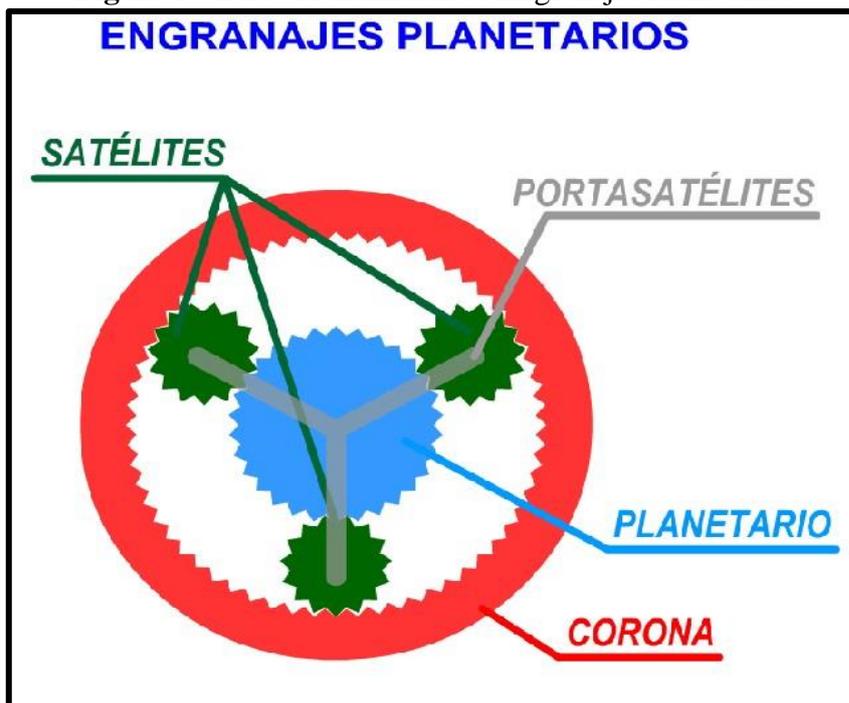
El motor generador uno (MG1) se encarga de arrancar el funcionamiento del Motor Térmico, además carga la Batería de alta tensión, y a la vez aporta potencia en alta carga.

b. Motor Generador 2 (MG2)

El motor generador dos (MG2) se encarga de mover al vehículo eléctricamente, también cumple con la función de cargar la batería en función del freno regenerativo.

c. Unidad de Engranajes Planetarios

Figura N° 2.17: Transmisión de Engranajes Planetarios

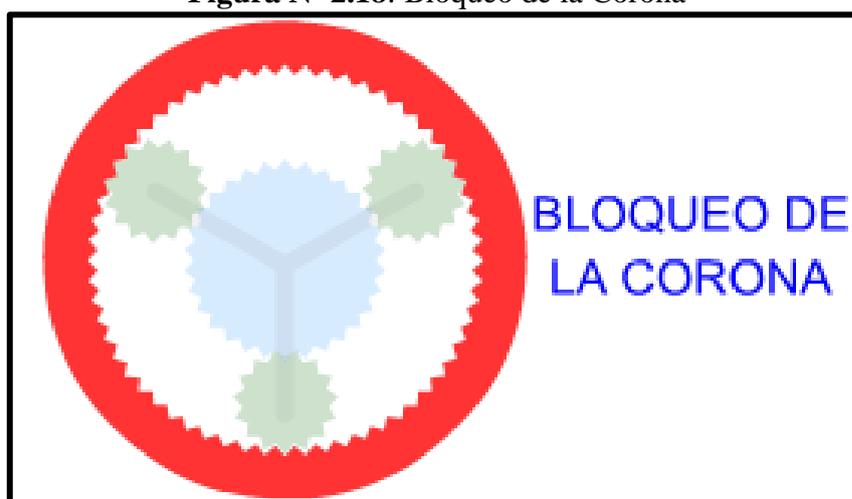


Fuente: (CISE ELECTRONIC Curso UTN Ibarra 2011).

Bloqueo de la Corona

En esta condición la corona permanece bloqueada, mientras que los satélites, planetarios (SOL), porta-satélites giran libremente.

Figura N° 2.18: Bloqueo de la Corona

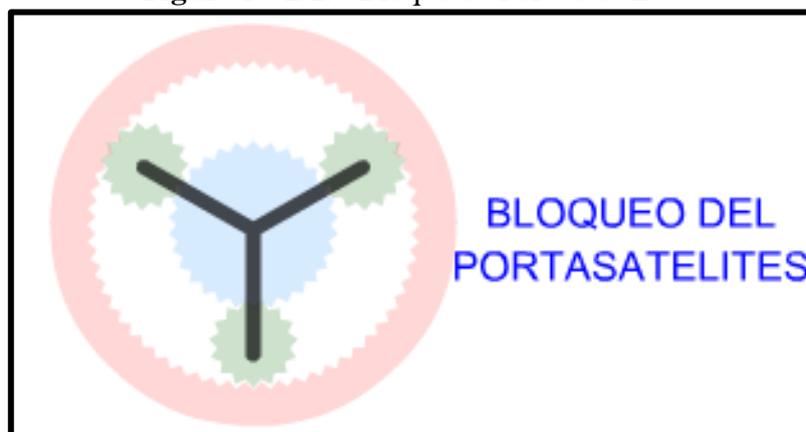


Fuente: (CISE ELECTRONIC Curso UTN Ibarra 2011)

Bloqueo del Porta-Satélites

En esta condición el porta-satélites o Y permanece bloqueado, mientras la corona, satélites, planetario (sol).

Figura N° 2.19: Bloque de Porta-Satélites

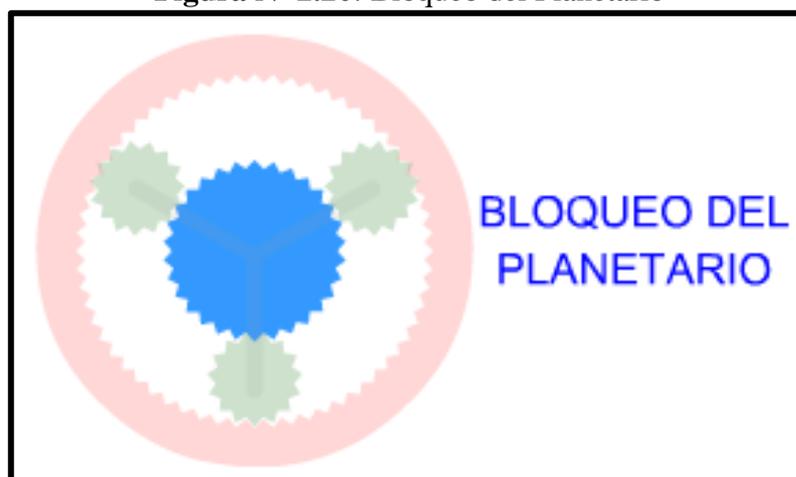


Fuente: (CISE ELECTRONIC Curso UTN Ibarra 2011)

Bloqueo del Planetario “SOL”

En esta condición el planetario “SOL” permanece bloqueado mientras que la corona, satélites, porta-satélites giran libremente.

Figura N° 2.20: Bloqueo del Planetario

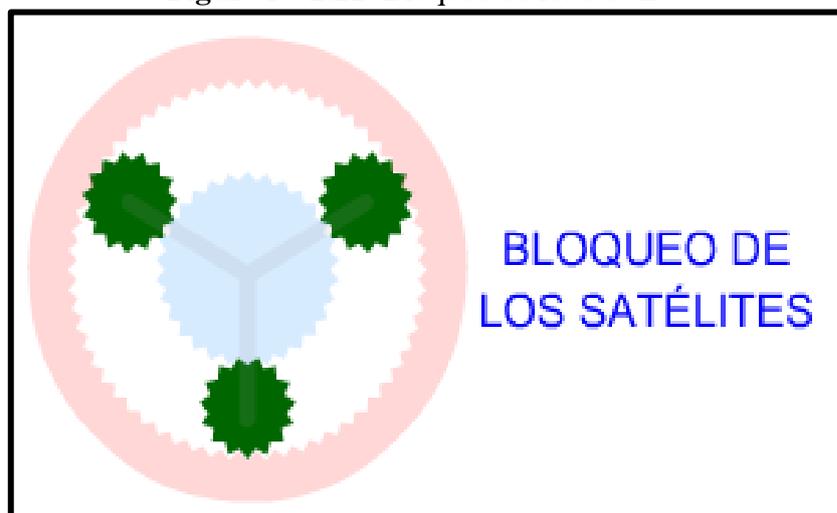


Fuente: (CISE ELECTRONIC Curso UTN Ibarra 2011)

Bloqueo de los Satélites

En esta condición los satélites permanecen bloqueados, mientras que la porta-satélite, planetario (SOL), corona giran libremente.

Figura N° 2.21: Bloqueo de los Satélites



Fuente: (CISE ELECTRONIC Curso UTN Ibarra 2011)

La operación del sistema Híbrido requiere que un gran número de condiciones estén establecidas antes que las Unidad HV comience la estrategia de operación del motor de combustión y los Motores Generadores. El conjunto está formado por los dos Motores Generadores y el motor de combustión, todo unido a través del conjunto sistema planetario, este último permite el aporte de potencia de cada uno de los elementos.

d. Frenos Regenerativos

El freno regenerativo recupera y convierte la energía que se pierde en una desaceleración o al frenar y la acumula en las baterías de alta tensión para asistir al motor cuando sea necesario, en el frenado el motor eléctrico actúa como generador convirtiendo la energía cinética en eléctrica que utiliza para recargar a las baterías de alta tensión produciendo el

freno regenerativo. Es un componente muy importante que permite reducir la velocidad de un vehículo. Los componentes del sistema de freno regenerativo están compuestos por un engranaje planetario, incluye frenos hidráulicos y un único sistema de frenado regenerador usa la velocidad del vehículo para recargar la batería de alto voltaje. En cuanto el pedal del acelerador se suelte, la ECU de la batería de alto voltaje comienza el frenado regenerador. MG2 rueda las ruedas y es usado como un generador para recargar la batería de alto voltaje. Para aumentar la eficiencia de energía el sistema usa el freno regenerador siempre que sea posible y recuperan 30% de energía. Este sistema es particularmente efectivo en recobrar energía cuando se circula por ciudad, donde se producen aceleraciones y desaceleraciones frecuentes. Cuando se pisa el pedal de freno, el sistema controla la coordinación entre el freno hidráulico del ECB (Electronic Control Braking) y el freno regenerativo y preferentemente usa el freno regenerativo, por consiguiente, recobrando energía aún en las velocidades inferiores del Vehículo. Con este sistema se consigue una regeneración de energía muy eficiente. Ambos dispositivos de frenado transforman parte de la energía cinética del vehículo en energía térmica (calor). Los vehículos híbridos eléctricos utilizan como medio de tracción motores eléctricos, que también pueden funcionar como generador de energía eléctrica. Al actuar el motor eléctrico como generador, parte de la energía mecánica se transforma en energía eléctrica, la son cargadas en la batería. Por todo ello, a este sistema se le denomina sistema de "frenado regenerativo" pues reduce la velocidad del vehículo y recupera parte de la energía cinética del mismo almacenándola en las baterías llamadas híbridas de alta tensión. Sin embargo, además del frenado regenerativo, el vehículo híbrido eléctrico dispone de un sistema de frenado mecánico similar al de un vehículo de motor de combustión interna ya que el frenado regenerativo no es capaz de proporcionar toda la fuerza de frenado requerida. Debido a que es necesario gestionar ambos sistemas de

frenado, el conjunto del sistema de frenado presenta una cierta complejidad. Cabe destacar que el sistema de frenado regenerativo también está íntimamente ligado a la gestión del control de las baterías, ya que cuando la batería está completamente cargada no puede recibir energía del frenado regenerativo y es el sistema de frenos mecánico el que actúa. Además, el frenado regenerativo tiene lugar únicamente en el eje motriz, es decir, en el eje del vehículo que dispone del motor eléctrico. Ambos sistemas de frenado, el mecánico y el regenerativo, deben ser gestionados para determinar qué proporción de la fuerza de frenado es aplicada por el sistema regenerativo y qué proporción de dicha fuerza es aplicada por el freno mecánico, de modo que se maximice la recuperación de energía y que se cumplan los requisitos de seguridad de un sistema de frenos. Las exigencias de un sistema de frenos son:

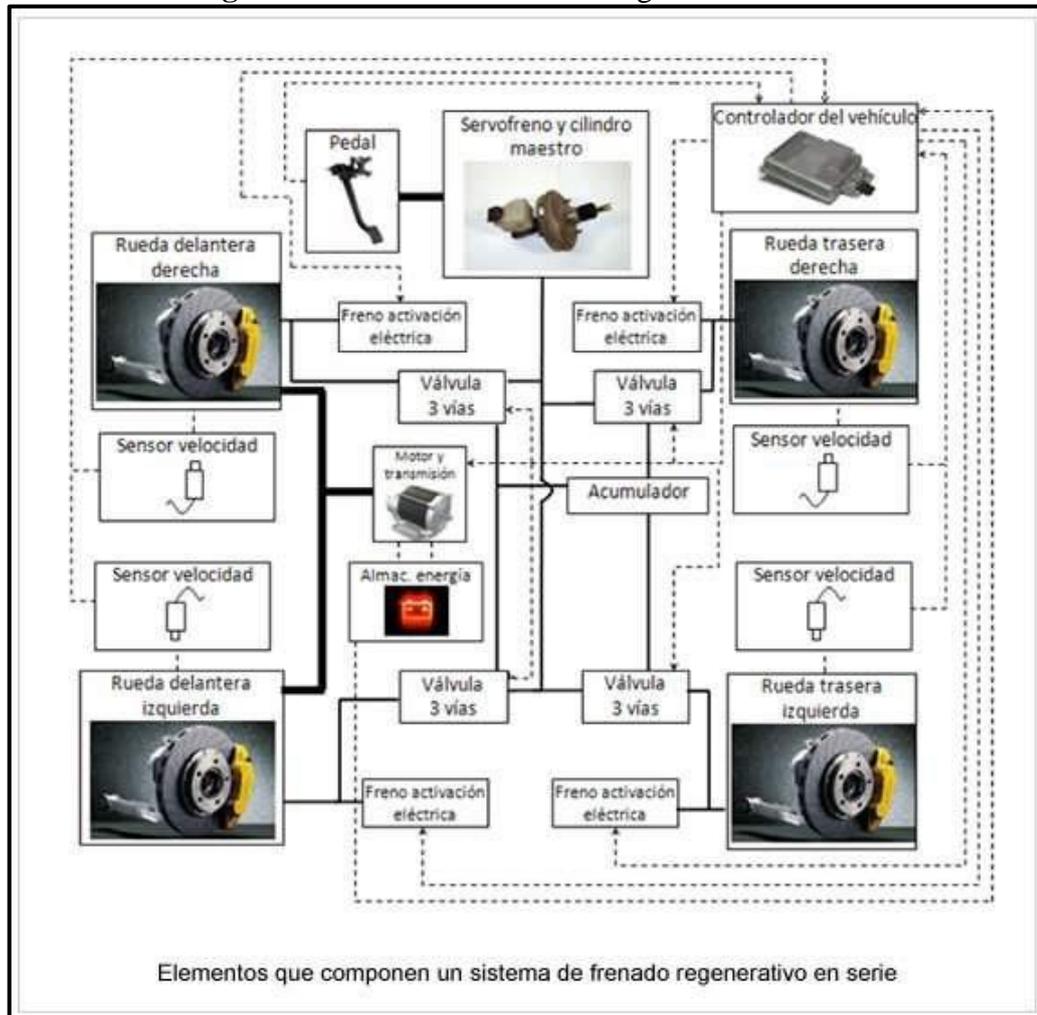
- Eficacia: El sistema de frenos regenerativos debe detener el vehículo en un tiempo y distancia mínimo cuando el conductor pisa el pedal del freno con una fuerza que no debe sobrepasar un determinado valor.
- Estabilidad: En el proceso de frenado del vehículo este debe conservar la trayectoria de forma que no se produzcan desviaciones del vehículo.
- Ergonomía: Al accionar el pedal del freno debe ajustarse a unos criterios que permitan al conductor pisar el pedal del freno con una fuerza pequeña, un funcionamiento progresivo y un recorrido del pedal determinado.

2.3.11 Frenado en Configuración en Serie

Este tipo de frenado permite controlar la fuerza de frenado en cada rueda de forma independiente. El sistema está formado por un pedal de freno, cilindro maestro, unidad de control, sensor de velocidad de rueda, freno eléctrico por rueda y freno de disco. La mayor dificultad de este sistema es controlar y gestionar la fuerza de frenado mecánica y

la proporcionada por el freno eléctrico y maximizar la recuperación de la energía de frenado.

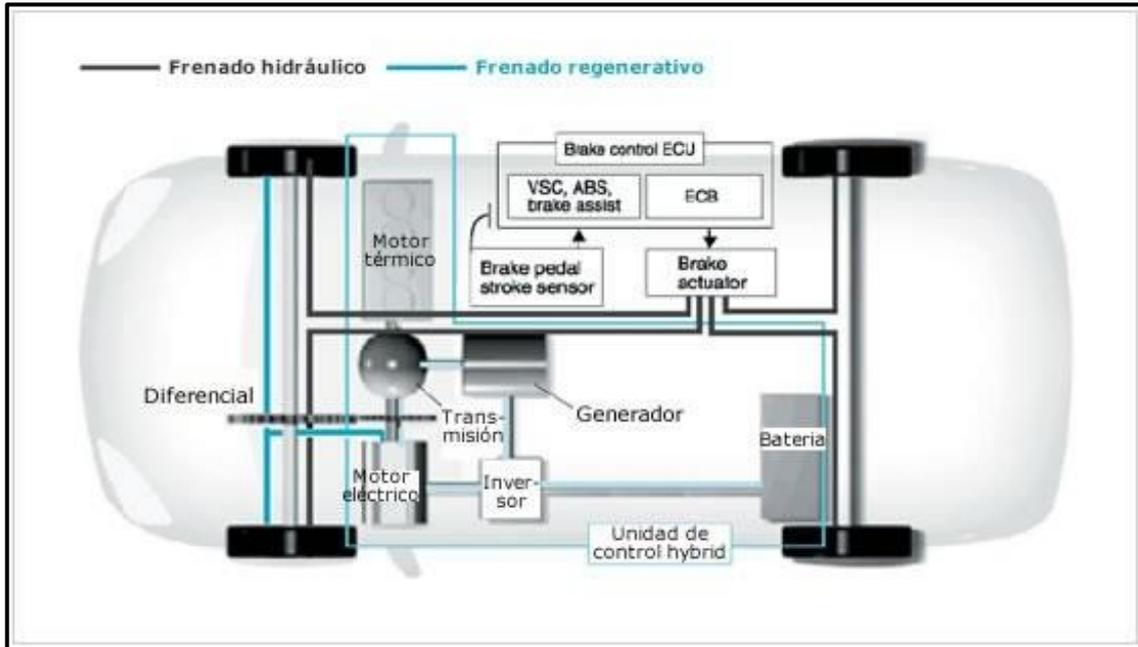
Figura N° 2.22: Frenado en Configuración en Serie



Fuente: (Álvarez, 20010)

Este sistema es efectivo en recobrar energía cuando se circula por ciudad, donde se producen aceleraciones y desaceleraciones con más frecuencia. Cuando se pisa el pedal de freno, el sistema controla la coordinación entre el freno hidráulico del ECB (Electronic Control Braking) y el freno regenerativo y preferentemente usa el freno regenerativo, por consiguiente, recobrando energía aún en las velocidades inferiores del Vehículo. Con este sistema se consigue una regeneración de energía muy eficiente.

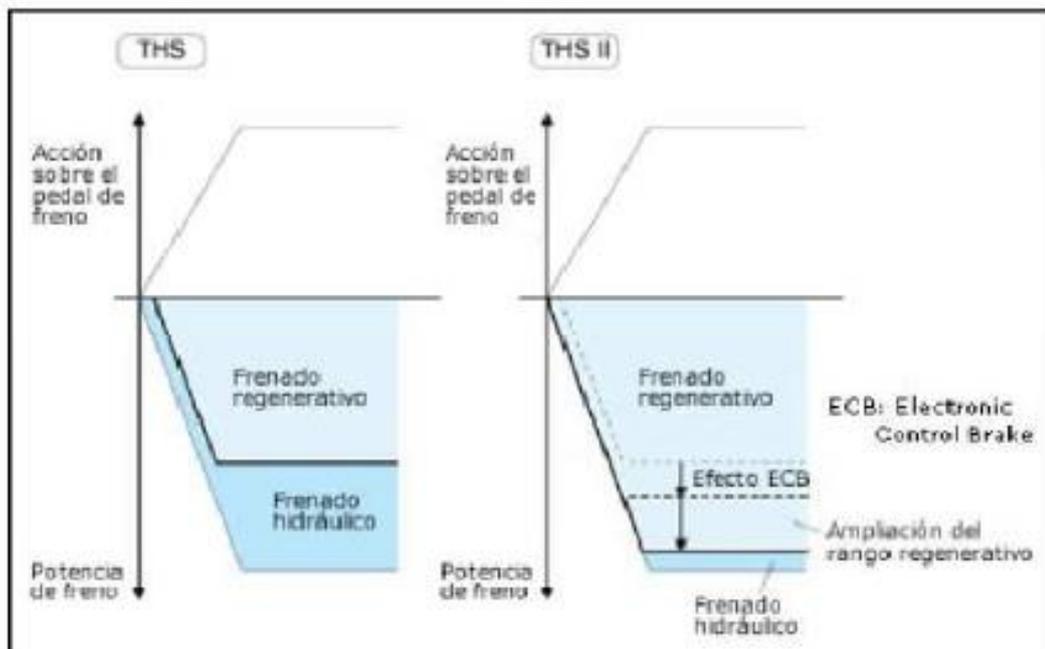
Figura N° 2.23: Frenos Regenerativos



Fuente: (www.mecanicavirtual.org/hibridos-prius.htm)

En la gráfica inferior se ve como se ha mejorado el sistema de frenado regenerativo en el THS II con respecto a la versión inicial (THS).

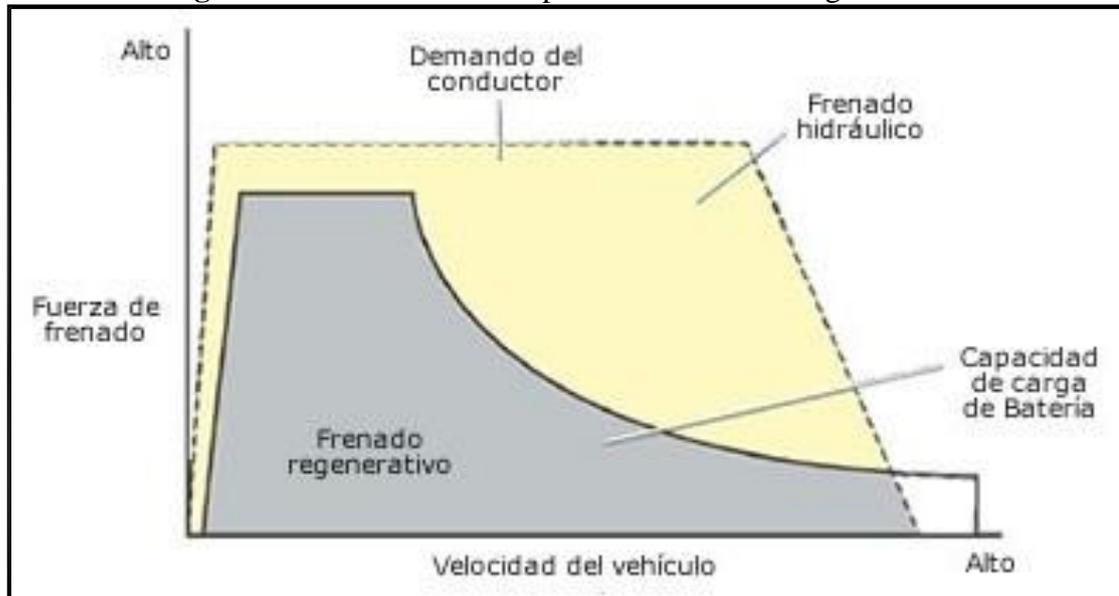
Figura N° 2.24: Freno Regenerativo THS VS THSII



Fuente: (www.mecanicavirtual.org/hibridos-prius.htm)

El sistema de frenos regenerativos recupera 65% de la energía eléctrica que cargan las baterías de alta tensión.

Figura N° 2.25: Control Cooperativo de Frenos Regenerativos



Fuente: (www.mecanicavirtual.org/hibridos-prius.htm)

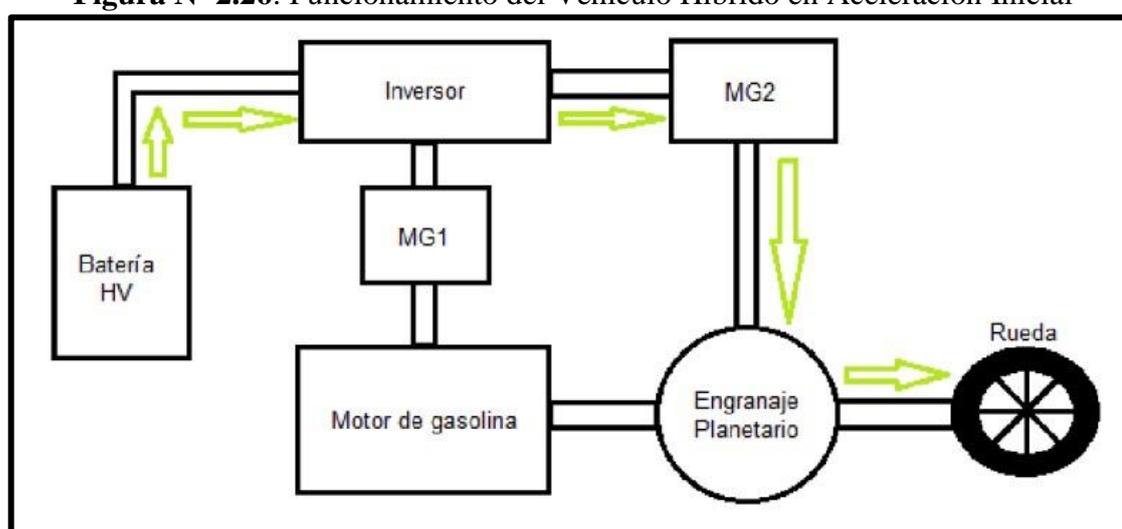
2.3.12 Condiciones de Operación del Vehículo Híbrido Eléctrico.

El sistema de operación del vehículo híbrido se basa en diferentes formas de operación en las cuales pueden ser usados el caso más común el vehículo funciona con electricidad acumuladas en las baterías de alta tensión, se puede operar en la ciudad donde es más contaminante, puede operar en viajes más largos solo con el motor de combustión interna fuera de las ciudades optimizando la potencia y eficiencia para el movimiento del vehículo híbrido. La potencia que proviene del motor térmico es alrededor del 50%, y la potencia adicional del motor eléctrico y las baterías, estas se recargan con el motor-generator cuando no son usadas. Como los vehículos híbridos se desplazan, aunque por poco tiempo, con el motor de combustión apagado y operando sólo con baterías, son denominados con cero emisiones.

a. Vehículo Híbrido Puesta en Marcha

Durante la aceleración inicial y a bajas revoluciones, el motor eléctrico se utiliza para mover el vehículo con o sin el motor térmico, utiliza energía de la batería para mover el vehículo, en este caso solo el MG2 impulsa el vehículo, cuando el nivel de energía es bajo utiliza el motor de combustión interna para dar potencia al generador (MG1) y recargar la batería HV. (Ferrer & Domínguez)

Figura N° 2.26: Funcionamiento del Vehículo Híbrido en Aceleración Inicial

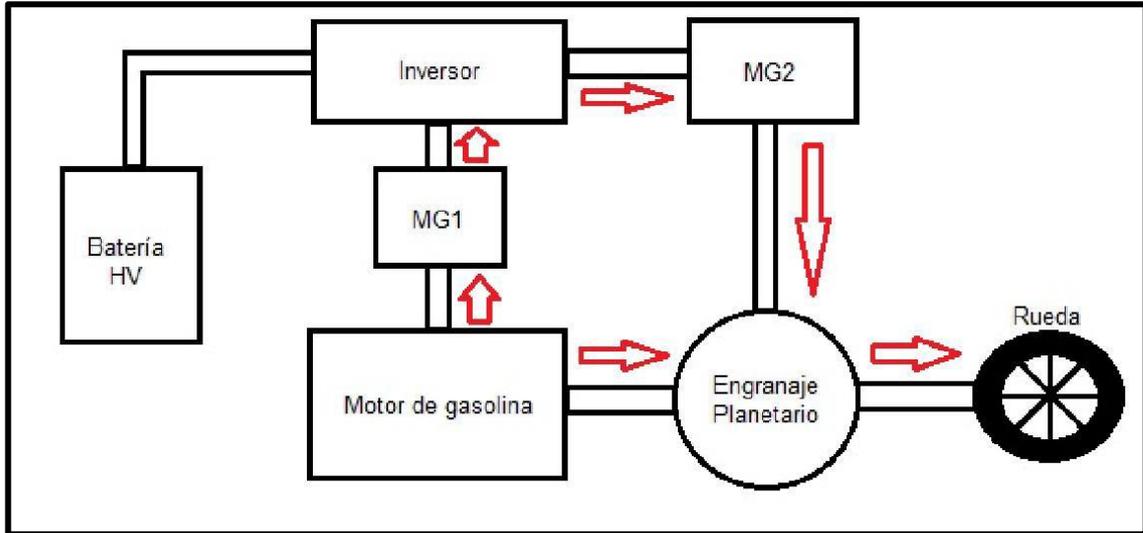


Fuente: (Ferrer & Domínguez)

b. Vehículo Híbrido en Conducción Normal

Al momento de conducir en condiciones normales ósea una vez de que el vehículo salga de la inercia y este tomando velocidad, el motor de combustión interna es impulsado para su encendido por el generador MG1 y el motor convencional pasa a ser la principal fuente de energía transmitiendo su potencia directamente a las ruedas, el generador (MG1) también trabaja como generador alimentando el motor eléctrico (MG2), el Hybrid Synergy Drive siempre trata de mantener la relación óptima entre la potencia de ambos motores para la disminución de gases emitidos y el ahorro de combustible del vehículo.

Figura N° 2.27: Funcionamiento eel Vehículo Híbrido en Aceleración Inicial

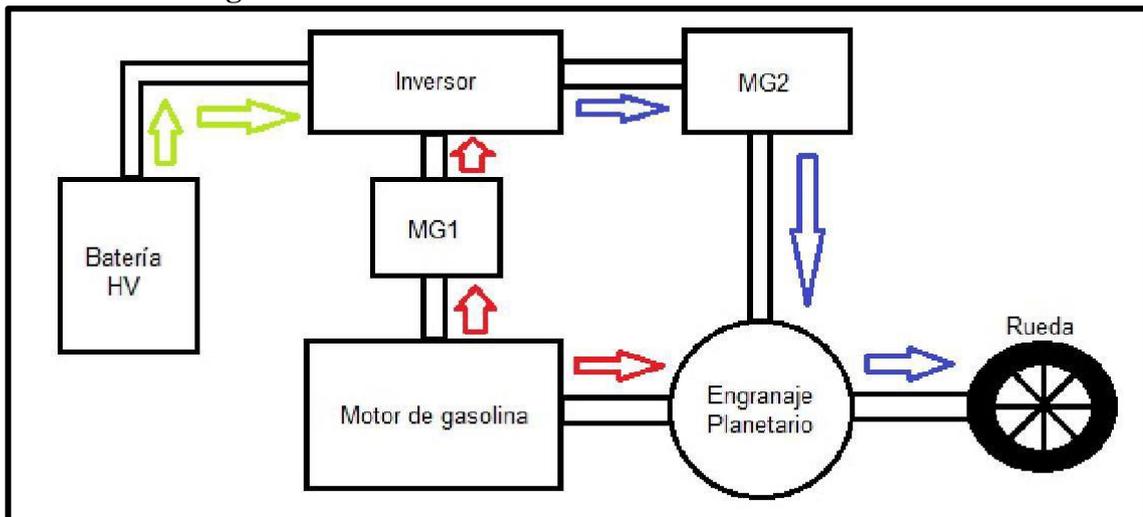


Fuente: (Urdiales & Limón)

c. Vehículo Híbrido con Aceleración Fuerte

Al tratar de rebasar o acelerar de golpe para subir una cuesta se combinan las fuentes en el cual el motor eléctrico (MG2), alimentado simultáneamente por el generador (MG1) y la batería HV, trabaja conjunto con el motor de combustión interna apoyándolo para lograr proporcionar la máxima potencia al vehículo.

Figura N° 2.28: Vehículo Híbrido con Aceleración Fuerte

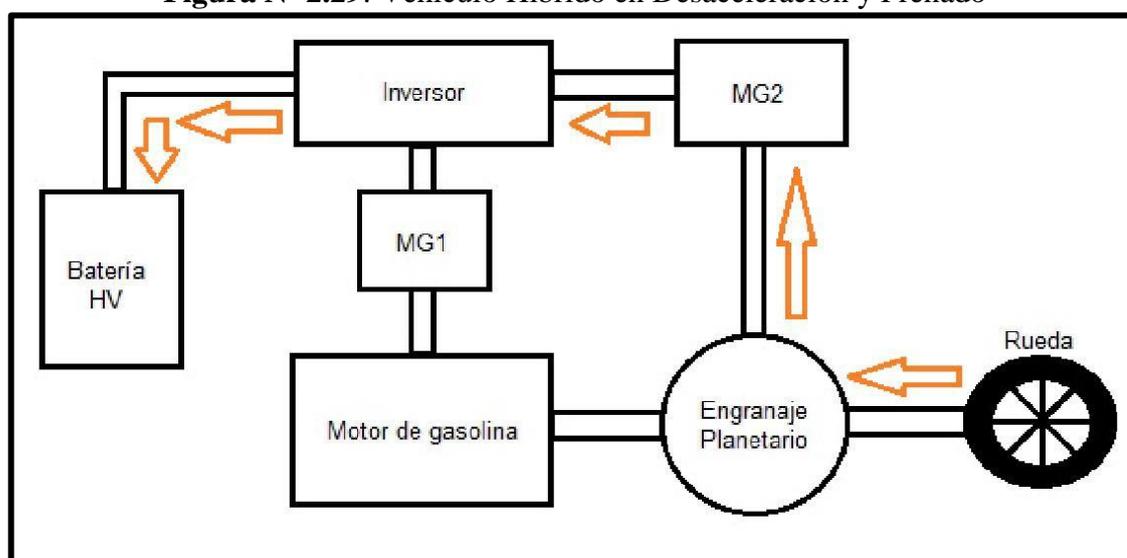


Fuente: (Manual Toyota Motor Corporación)

d. Vehículo Híbrido en Desaceleración y Frenado

Al dejar de acelerar y luego pisar el pedal del freno, el motor eléctrico (MG2) se convierte en generador y comienza a cargar la batería HV, mientras tanto, con la palanca de cambios en posición D, el motor de combustión interna se apaga para no consumir combustible, pero con la palanca de cambios en posición B el motor de combustión interna gira para dar freno motor y dar un apoyo extra a la batería HV con una carga más efectiva.

Figura N° 2.29: Vehículo Híbrido en Desaceleración y Frenado

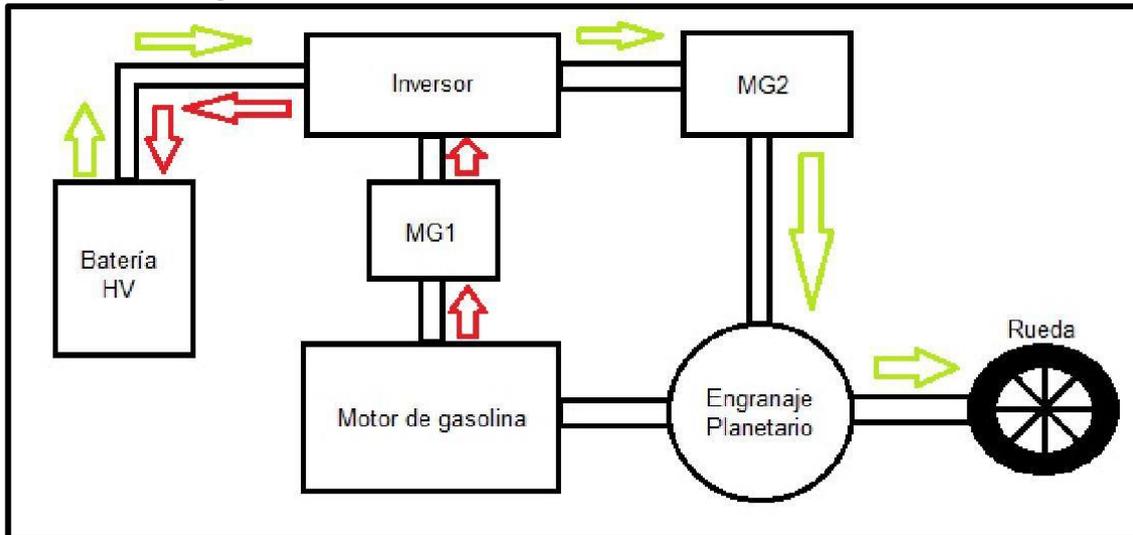


Fuente: (Manual Toyota Motor Corporación)

e. Vehículo Híbrido en Marcha Atrás o Retro

Al colocar la palanca de cambios en posición R cuando se requiere un retroceso del vehículo, es netamente impulsado por el motor eléctrico (MG2) y el motor de combustión interna se enciende cuando es requerido para cargar la batería HV, caso contrario permanece apagado hasta el momento que sea requerido de nuevo.

Figura N° 2.30: Vehículo Híbrido en Marcha Atrás o Retro.

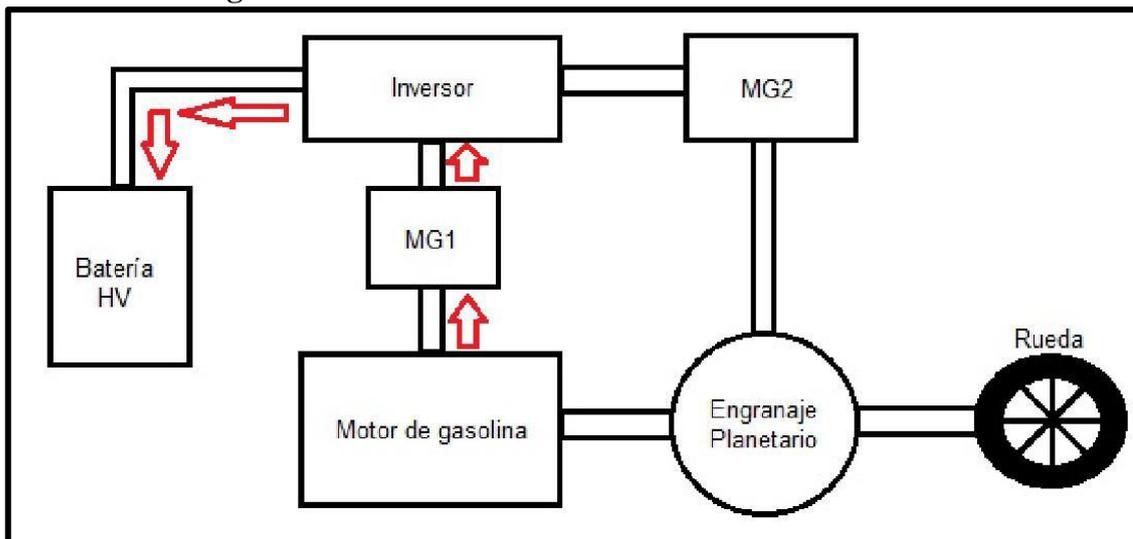


Fuente: (Urdiales & Limón)

f. Vehículo Híbrido en Detención o Parada

Al momento de detener por completo el vehículo como por ejemplo esperando un semáforo o en el tráfico de la ciudad, el motor de combustión interna se apaga para no consumir combustible y se enciende solamente si es necesario para cargar la batería HV y aumentar su temperatura.

Figura N° 2.31: Vehículo Híbrido en Detención o Parada.



Fuente: (Urdiales & Limón)

2.3.13 Rendimiento del Vehículo Híbrido

El híbrido que posee mayor rendimiento es el basado en un motor térmico de alto rendimiento es el ciclo Atkinson y dos motores eléctricos de gran potencia, conectados mediante un diferencial planetario. Este sistema se apoya en una batería de níquel e hidruro metálico de peso y capacidad reducida, para suplir la energía en que el motor térmico cuenta con menor rendimiento energético. Cuando funciona en forma normal un vehículo híbrido, el funcionamiento se favorece de cada uno de sus medios de propulsión y su rendimiento sea óptimo. La principal diferencia con el vehículo convencional será cuando se encuentra detenido o circula a baja velocidad, el motor térmico podría detenerse, momento en que el rendimiento de este motor híbrido es más cuestionable durante las fases de desaceleración, descenso de algunas pendientes o circulación con bajas cargas por su menor rpm del motor que posee. la ventaja que tiene es de proporcionar un rendimiento al conjunto de propulsión del vehículo superior a otros sistemas. No sólo se reducen en gran medida los períodos en los que el motor térmico consume combustible, sino que la parte eléctrica es capaz de regenerar y almacenar energía durante las frenadas. Esta energía se pierde en forma de calor y desgastes en los sistemas de frenado de los vehículos convencionales.

2.3.14 Ventajas de los Vehículos Híbridos

los vehículos híbridos son parecidos respecto a los demás vehículos convencionales, solo hay pequeñas diferencias que se basan en el aspecto técnico para el conductor.

Algunas de estas ventajas son las siguientes:

- La principal ventaja es la reducción de la emisión de gases contaminantes y una mejor eficacia en el consumo de combustible fósil. En lugares como son las ciudades, El

motor del vehículo híbrido es más silencioso que el motor convencional y posee un motor eléctrico funcionando muy frecuentemente a velocidades bajas.

- El vehículo híbrido tiene mayor autonomía, tiene una recarga mucho más rápida, en cuanto a funcionamiento. Su motor es más eficiente, así como da una respuesta más rápida, puede funcionar para recorridos cortos sólo con el motor eléctrico, en la ciudad, que es donde se produce el mayor gasto de combustible.
- La energía que se pierde en forma de calor, a través de las frenadas normales que tiene el vehículo convencional, se puede recuperar y utilizar para cargar las baterías de alta tensión, por medio del sistema de freno regenerativo.
- Logra altos rendimientos ya que el conjunto motor de combustión y generador eléctrico trabajan en el punto para el que han sido diseñados.
- No necesita transmisión mecánica entre el motor térmico y las ruedas; eliminando así una de las causas de reducen la eficiencia del sistema.

Tabla N° 2.6: Ventajas Híbridas Sobre Convencionales

Ventajas de los Vehículos Híbridos.	Ventajas de los V.H. con respecto a los V.E.	Ventajas de los V.H. con respecto a los Vehículos Convencionales
Frenada regenerativa, que contribuye a minimizar la energía perdida en las frenadas habituales de la conducción.	Incremento de autonomía, ya que esta depende del combustible almacenado en el tanque.	Son capaces de conseguir una eficiencia posible, lo que se consigue por la supresión de la mayor parte de las pérdidas de potencia que se producen en los vehículos tradicionales.
Motor térmico más pequeño	Alto y uniforme rendimiento incluso a bajas temperaturas	Sistema de frenado tiene a su vez capacidad regenerativa de la potencia absorbida, lo que reduce las pérdidas de eficiencia.

Gran disminución en el consumo, que puede llegar al 50% del consumo normal de un vehículo.	La unidad auxiliar no funciona continuamente, ya que se desactiva automáticamente cuando no es necesaria.	El motor se dimensiona solo para una potencia promedio, ya los picos de potencia los proporciona la fuente de energía alternativa. Esto además permite que el motor funcione siempre en su punto óptimo o muy cerca de él.
Gran descenso en las emisiones contaminantes	Se elimina la necesidad de recargar las baterías cuando estas se agotan	El motor puede desactivarse durante la marcha cuando no se necesita
Empleo de combustibles alternativos	El motor térmico interna funciona bajo un estrecho margen de carga y velocidad, lo que incrementa su eficiencia.	Eficiencia del combustible se incrementa notablemente, lo que se traduce en reducción de las emisiones.

Elaboración propia

2.3.15 Emisiones

El CO₂ o dióxido de carbono es uno de los gases que se producen al quemar combustible, y uno de los principales gases de efecto invernadero. La emisión de este gas por un vehículo tiene relación con el consumo de combustible: los motores de gasolina emiten 2,3 kg de CO₂ por cada litro de gasolina quemado y los motores diésel 2,6 kg de CO₂ por cada litro de gasolina. Un vehículo en marcha emitirá una cantidad de CO₂ proporcional por cada kilómetro que recorra quemando combustible. Normalmente se mide en gramos por kilómetro. En el caso de los vehículos híbridos el CO₂ por kilómetro emitido es sensiblemente menor porque estos vehículos pueden circular con el motor de combustible apagado (sin emisión de CO₂), funcionando sólo con el sistema eléctrico. La medida de consumo por cada cien kilómetros recorridos (l/100 Km) es más conocida y habitual. Se refiere a la cantidad de litros de combustible que consume un coche para

recorrer 100 kilómetros. La medición se realiza en lo que se llama “ciclo combinado”, que incluye un recorrido por ciudad (4 kilómetros a 50 km/h) y otros por autopista (7 kilómetros a 100 km/h); su medición no es una ciencia exacta y por tanto en lo real puede variar en mayor o menor medida dependiendo de distintos factores (carga, condiciones meteorológicas o mecánicas, estado del vehículo, forma de conducir, accesorios instalados, etc.). Tal vez si estás dudando entre dos o más modelos de vehículo para conocer estos datos (emisión de CO₂ y consumos) te ayude a decidirte. Entre dos vehículos similares elegir uno que contamine un poco más o uno que contamine un poco menos no sólo puede servir para aliviar tu conciencia ecológica, sino que también puede beneficiarte económicamente. Actualmente el porcentaje del impuesto de matriculación que se paga al comprar un coche depende de cuánto contamina el coche, aplicable a distintos modelos del mercado. O a cualquier otro coche si conoces el dato gramos de CO₂/km con los siguientes datos:

- 120 gCO₂/km o menos — exento
- Más de 120 y menos de 160 gCO₂/km — 4,75%
- Más de 160 y menos de 200 gCO₂/km — 9,75%
- Más de 200 gCO₂/km — 14,75%

2.4 Hipótesis de la Investigación

2.4.1 Hipótesis General

El análisis de la conversión de un vehículo Toyota Prius de motor de combustión interna a eléctrico híbrido en serie para la región Puno permitirá reducir los niveles de contaminación de emisión de gases en la región Puno.

2.4.2 Hipótesis Específicas

- a.** La evaluación del desempeño del proceso con motor a gasolina, proyectado a motor eléctrico, permitirá conocer el funcionamiento de los mismos.
- b.** La determinación de las emisiones de CO₂ con motor a gasolina acoplado a Motor Eléctrico, permitirá minimizar las emisiones de gases.
- c.** La evaluación de la eficiencia productiva y energética con el uso del motor a gasolina con motor Eléctrico, permitirá elegir el más eficiente.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLOGICO

En este capítulo está orientado al desempeño de los objetivos como parte primordial en el proceso de investigación científica, con la finalidad de permitir, predecir, explicar y describir.

3.1 Tipología y Nivel de Investigación

3.1.1 Tipo de Investigación

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizó el de tipo descriptivo, analítico realizando métodos técnicos, basándose en modelos de conversión de vehículos híbridos, para luego analizarlos y buscar especificar sus rasgos y características de un objeto de estudio de cualquier fenómeno que se analice y describe una de las variables.

3.1.2 Nivel de Investigación

El nivel de investigación es de ingeniería de base “no-experimental”, que tiene el propósito de interpretar realidades que incluye dentro de la descripción, registro, análisis e interpretación de datos, composición o procesos de los fenómenos. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.

3.1.3 Método y Diseño de la Investigación

Para el desarrollo de esta etapa se aplicó el método de investigación descriptiva, donde se detallaron las características de sus fenómenos y comportamientos bajo diversas condiciones o hechos de estudio e identificación de datos relacionados en la comparación de dos o más variables que se lograron sobre la base de nuestra hipótesis.

3.1.4 Población y Muestra de Investigación

3.1.4.1 Población

Motores de combustión interna diésel de cuatro tiempos.

3.1.4.2 Muestra

Motor eléctrico híbrido marca Toyota, 0Se identificó que la muestra es igual a la población ya que solo analizaremos 2 modelos de autos en específico, que son el vehículo híbrido modelo Toyota Prius C y el vehículo convencional modelo Toyota Convencional.

3.1.5 Ubicación y Muestra de la Investigación

3.1.5.1 Ubicación

- Ubicación: Puno ciudad capital se encuentra ubicada a las orillas del Lago Titicaca Altitud: A los 3825 m.s.n.m.
- Región:Puno
- Provincia:Puno
- Distrito:Puno
- Altitud:3824msnm
- Latitud:15°50'31"
- Longitud:70°01'11"
- Presión Atmosférica:64 KPa.

Figura N° 3.1: Mapa de la Región de Puno con Zona de Ubicación del Proyecto.



Fuente: (AutoCad 2016)

3.1.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para el desarrollo de la recolección de datos fue realizada tomando en cuenta el apoyo de estudios bibliográfico, libros, proyectos, conferencias y documentación técnica referente al tema de conversión de vehículos híbridos, La recolección de los datos es la forma de enumeración por la técnica descriptivo para su cálculo de las variables con cualquiera de las herramientas y/o formulas. El propósito es concentrar la información y desarrollar sus resultados en diagramas, cuadros representativos, figuras y demás elementos necesarios para hacer la interpretación de los fenómenos en estudio.

- a. *Recolección de datos del primer y segundo objetivo:* Se efectuó una recopilación de datos de los principales estudios realizados con la conversión de vehículos convencionales de motor de combustión interna sistemas híbridos y la selección de componentes
- b. *Recolección de datos del tercer y cuarto objetivo:* De igual manera se efectuó una recopilación de datos de estudios sobre la eficiencia y rendimiento de modo de operación del vehículo híbrido

3.1.7 Técnicas de Análisis de la Recolección de Datos

Una vez recolectada la información a partir del estudio bibliográfico, se describen las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos mediante el análisis del contenido.

3.2 Balance de Potencia del Vehículo Híbrido

3.2.1 Par Motor

El par motor es la fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de la potencia.

El par motor (T) es el producto de la fuerza aplicada (F) de empuje a los cilindros por la distancia (d), al eje geométrico de giro del árbol del cigüeñal. Su unidad (Nm)

$$T = F \times r \quad (3.1)$$

3.2.2 Potencia

La potencia desarrollada por el par motor es proporcional a la velocidad angular del eje de transmisión.

$$P = T \times \omega \quad (3.2)$$

Donde:

P: potencia en W

T: par motor en Nm

ω : velocidad angular en rad/s

la potencia en función de las revoluciones por minuto (rpm) a la que gira el motor en vez de la velocidad angular.

$$P = T \times \omega = \frac{T \times n}{60/2\pi} \quad (3.3)$$

Donde:

P: potencia del motor en W

n: revoluciones por minuto de giro del motor en rpm

La potencia expresada en otras unidades de uso muy común, como son: HP y CV.

Dónde: 1 HP=765.59W

$$1 \text{ HP}=1.0139\text{CV}$$

la potencia (P) en función del par y las revoluciones del motor podría se expresa con la siguiente formula:

$$P_{hp} = T \times \omega = \frac{T \times n}{7120.91} \quad (3.4)$$

Donde:

P_{hp} : potencia del motor en HP

CV (Caballo de Fuerza): Es la potencia necesaria para levantar un peso de 75 kgf en un segundo, a un metro de altura y sus equivalencias con otros sistemas son las siguientes:

$$1 \text{ CV} = 73 \, 5,49 \, 8 \text{ W}$$

$$1 \text{ CV} = 0,9 \, 863 \text{ HP}$$

La potencia (P) en función del par y las revoluciones del motor quedaría de la siguiente manera:

$$P_{cv} = T \times \omega = \frac{T \times n}{7023.50} \quad (3.5)$$

Donde:

P_{cv} : potencia del motor en CV

La fuerza motriz (F) transmitida por el neumático al suelo, en función de la potencia del motor (P) y la velocidad de marcha del vehículo (v), se puede expresar como:

$$F = \frac{9.81 \times \eta_t \times P}{v} \quad (3.6)$$

Donde:

P: potencia del motor en (W)

v: velocidad de marcha del vehículo en (m/s)

η_t : rendimiento total de la cadena cinemática de transmisión en tanto por uno

F: fuerza motriz transmitida por el neumático al suelo, en N.

El rendimiento total de la cadena de transmisión (η_t) se obtendrá a partir de los rendimientos de cada uno de los elementos y órganos que constituyen el sistema de transmisión.

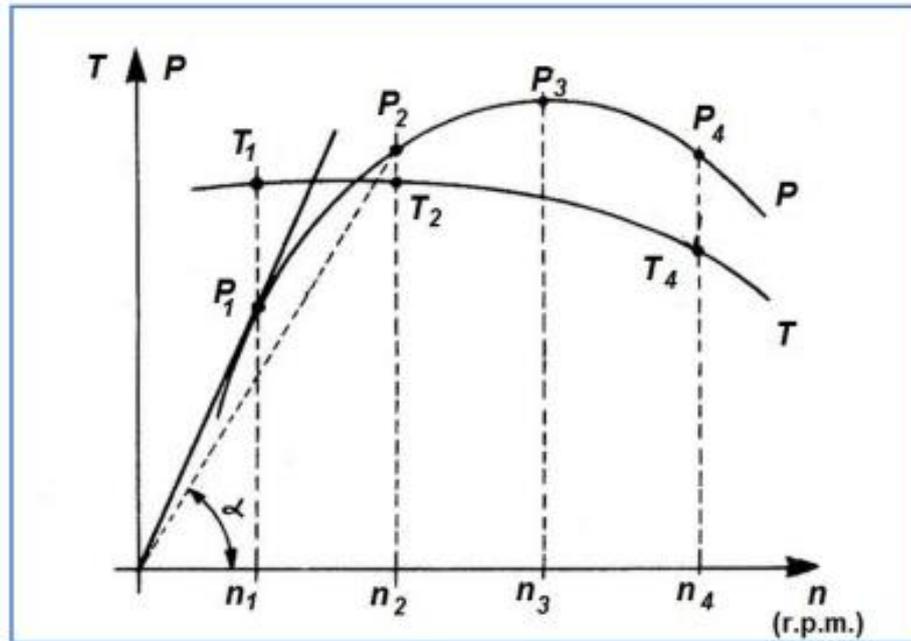
(3.7)

$$\eta_t = \eta_1 \times \eta_2 \times \dots \times \eta_n$$

3.2.3 Curva de Potencia

En la siguiente gráfica se representa de nuevo la curva conjunta de potencia (P) y par motor (T), en función de la velocidad de giro (n) en r.p.m. para un motor tipo.

Figura N° 3.2: Curva de par Motor Potencia.



Fuente: Elaboración Propia

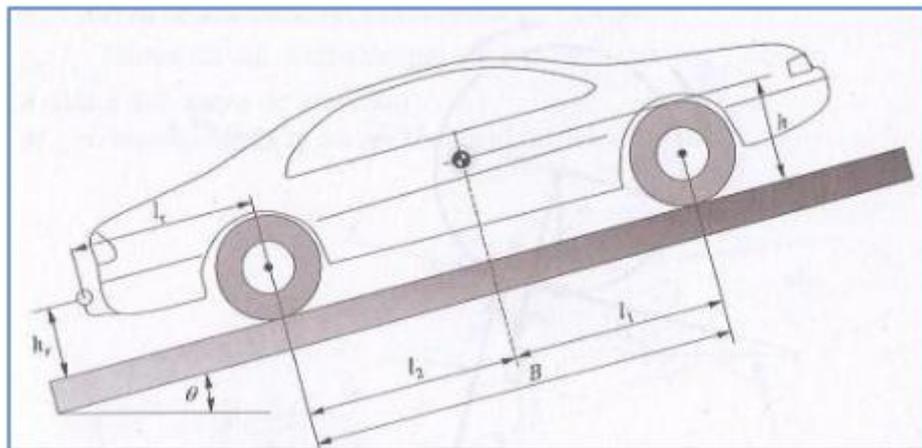
La potencia que puede ofrecer un motor de combustión interna tipo aumenta conforme sube de régimen de giro, hasta un máximo (P3) que se alcanza cuando gira a n3 (rpm).

En estas condiciones, aunque se acelere más la velocidad del motor, éste no es capaz de entregar más potencia dado que la curva entra en su tramo descendente

3.2.4 Calculo de Velocidades

Para calcular la velocidad (v) de marcha de cualquier vehículo en función del número de revoluciones de giro del motor (η_m) y del diámetro de las ruedas motrices (D), para unos valores determinados de relaciones de transmisión de la cadena cinemática.

Figura N° 3.3: Fuerzas Longitudinales de in Vehículo de Tracción



Fuente: (Vehículo Toyota)

Si D es el diámetro de la rueda motriz y (η_r) es la velocidad de giro del palier que conecta con la rueda, y que por lo tanto es la misma que la de la rueda:

$$V = \frac{\pi x D x \eta_r}{60} \tag{3.8}$$

Donde:

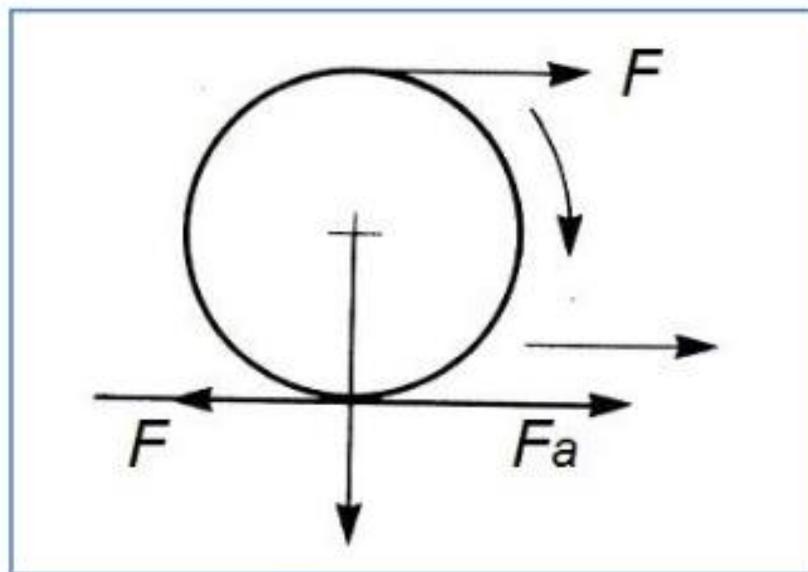
V : velocidad de marcha del vehículo en m/s

D : diámetro exterior de la rueda motriz en m

η_r : velocidad de giro del palier o rueda en rpm

3.2.5 Resistencia de Rodadura

El motor de un vehículo desarrolla un par motor, que al ser transmitido por las partes del sistema de transmisión, llega hasta las ruedas motrices.

Figura N° 3.4: Fuerzas Existentes en la Rueda Motriz

Elaboración Propia

Como consecuencia de este par motriz, en las ruedas motrices se crea una fuerza tangencial (F), que es transmitida por el neumático en el punto de contacto con el suelo. si la fuerza motriz (F) que transmite la rueda es menor que la fuerza de adherencia (F_a) entonces la rueda motriz rodará, haciendo que el vehículo avance correctamente en su marcha.

$$R_r = u_r \times Q_t \quad (3.9)$$

Donde:

Q_t : peso total del vehículo

u_r : coeficiente adimensional, llamado coeficiente de rodadura.

3.2.6 Resistencia por la Pendiente de la Carretera (R_p)

Cuando un cuerpo se encuentra apoyado en el suelo y quiere ser arrastrado o deslizado, la fuerza que se opone a este movimiento de deslizamiento por el suelo se denomina

fuerza de rozamiento o adherencia. Se establece entre la superficie en contacto del cuerpo con el suelo.

$$F_a = u_a \times Q_t \times \cos \alpha$$

Donde:

QT: peso total del vehículo

α : ángulo que forma el plano inclinado de la carretera con la horizontal

u_a : coeficiente adimensional, llamado coeficiente de adherencia.

El coeficiente de adherencia es un valor que se obtiene experimentalmente, pues depende tanto de la naturaleza del terreno o pavimento sobre el que circule el vehículo, como del estado y naturaleza de los neumáticos.

Tabla N° 3.1: Valores de Coeficientes de Adherencia

Estado del pavimento	Coficiente de adherencia (u_a)
Estado del pavimento	0,8
Empedrado seco	0,7
Asfalto seco	0,6 a 0,75
Carretera húmeda	0,3 a 0,4
Carretera mojada	0,25
Carretera alquitranada y grasienta	0,15 a 0,20
Carretera con barro	0,15

Elaboración propia

3.2.7 Resistencia Aerodinámica

Cuando se habla de resistencia aerodinámica, se hace referencia a la fuerza opuesta al movimiento que sufre un objeto sólido (vehículo) cuando se desplaza a través del aire.

$$R_a(N) = \frac{1}{2} \rho C_x S V^2 \quad (3.11)$$

3.2.8 Resistencia Total al Movimiento del Vehículo

La resistencia total que se opone al movimiento del vehículo es la suma de las resistencias calculadas

$$P_t(kW) = P_r + P_p + P_a = R_t \cdot v \quad (3.12)$$

Donde:

P_T : potencia total en kW

P_r : potencia de rodadura en kW

P_p : potencia de pendiente en kW

P_a : potencia aerodinámica en kW

R_t : resistencia total en kW

V : velocidad de marcha del vehículo en m/s

El motor del vehículo ha de desarrollar una potencia mayor que la expresada, para tener en cuenta las pérdidas que se producen a lo largo del sistema de transmisión.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta un análisis de los resultados del sistema híbrido eléctrico de configuración en serie donde se obtiene los niveles de autonomía, como potencia, pérdidas de transmisión, resistencia al movimiento, resistencia aerodinámica y rodadura y consumo

4.1 Análisis de Autonomía del Vehículo Híbrido

Realizado el estudio de investigación del sistema de configuración en serie del vehículo híbrido se procede a realizar los cálculos de funcionamiento del vehículo y obtener resultados del sistema del vehículo.

.

4.1.1 Cálculo de Velocidades

Asumiendo una velocidad de 35 km/h. La aguja del marcador de revoluciones marcando 1350 rpm.

Poniendo datos:

$V=35$ km/h convirtiendo 9.72 m/s

$\eta_t = 1350$ rpm

D. de rueda = 62 cm = 0.62 m

$i_{caja\ de\ cambios} = 1.5$

$$V_{m/s} = \frac{\pi x D x \eta_t}{60}$$

$$\eta_r = \frac{v x 60}{\pi x D} = \frac{9.62 x 60}{\pi x 0.62} = 297.6 \text{ rpm}$$

Donde:

V : velocidad de marcha del vehículo en m/s

D : diámetro exterior de la rueda motriz en m

n_r : velocidad de giro del palier o rueda en rpm

la velocidad de salida de la transmisión:

$$i_{\text{caja de cambios}} = 1.5 = \frac{n_m}{n_b} = n_b = \frac{1350}{1.5} = 900 \text{ rpm}$$

Donde:

n_m : son las revoluciones por minuto de giro del motor en rpm

n_b : es la velocidad de giro del eje secundario a la salida de la caja de cambios y que conecta a su vez con el grupo cónico-diferencial del eje motriz en rpm

i : es la relación de transmisión de la caja de cambios

4.1.2 Cálculo de Resistencia a la Rodadura (R_r)

$$R_r = u_r x Q_t$$

Donde:

Q_t : peso total del vehículo

u_r : coeficiente de rodadura (0.025)

Masa del vehículo: 80 kg

Masa del combustible: 80 kg

Masa del conductor: 80 kg

Masa total 1550 kg

$$Q_t = 1550 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s} = 15205.5 \text{ N} = 15.20 \text{ KN}$$

reemplazando datos en $R_r = u_r \times Q_t = 0.025 \times 15.20 \text{ KN} = 308.14 \text{ N}$

1.1.1.1 Cálculo de resistencia por la pendiente de la carretera (R_p)

$$R_p = (N) Q_t \times \text{sen} \alpha = Q_t \times i$$

α : es el ángulo que forma el plano inclinado de la carretera con la horizontal

Pendiente a superar $\alpha = 0$ en pendiente plana

$$R_p = (N) Q_t \times \text{sen} \alpha = Q_t \times i = Q_t \times \text{sen} \alpha = 1550 \text{ kg} \times \text{sen} 0 = 0 \text{ N}$$

4.1.3 Cálculo de Resistencia Aerodinámica

$$R_a(N) = \frac{1}{2} \rho \times C_u \times S \times V^2 \text{ m/s}$$

Donde:

Densidad del aire: $\rho = 1,20 \text{ kg/m}^3$ entre 15 y 27° C

Velocidad del vehículo: $v = 35 \text{ km/h} = 9.72 \text{ m/s}$

Coefficiente de penetración aerodinámica: $C_a = 0,32$

Superficie frontal efectiva: $S = c_x \times d \times H = 1,88 \text{ m}^2$

Reemplazando datos en:

$$R_a(N) = \frac{1}{2} \rho C_d A V^2 = \frac{1}{2} \times 1200 \text{ kg/m}^3 \times 0.32 \times 1.88 \text{ m}^2 \times (9.72)^2 \text{ m/s} = 34.1 \text{ N}$$

4.1.4 Cálculo de Resistencia Total al Movimiento del Vehículo

$$R_t(N) = R_r + R_p + R_a$$

Donde:

$$\text{Resistencia rodadura: } R_r = 380,14 \text{ N}$$

$$\text{Resistencia pendiente: } R_p = 0 \text{ N}$$

$$\text{Resistencia aerodinámica: } R_a = 34,11 \text{ N}$$

Reemplazando datos en

$$R_t(N) = R_r + R_p + R_a = 380.14 \text{ N} + 0 + 34.11 \text{ N} = 414.2 \text{ N}$$

4.1.5 Cálculo Tractor de Esfuerzo a Superar las Ruedas Motrices

$$F_{dz} = \frac{Q_t \times l_2}{B} - (R_t - R_r) \frac{h}{B}$$

Donde:

F_{dz}: es la fuerza del eje

B: longitud total entre ejes expresada en m

R_t: resistencia total del vehículo en N

R_r: resistencia a la rodadura en N

H: distancia vertical (m)

$$F_{dz} = \frac{15205.5 \times 2.04}{3.3} - (414.2 - 380.1) \frac{0.5}{3.3} = 9389.4 \text{ N}$$

La fuerza a vencer en el asfalto:

$$F_{td} = u_r \times F_{dz} = 0.025 \times 9389.4N = 234.7N$$

4.1.6 Cálculo de los Momentos Torsores:

Teniendo la fuerza total que han de hacer las ruedas para ir a la velocidad definida, se ha podido obtener la fuerza que ha debido vencer cada rueda.

$$R_{rueda} = \frac{234.7}{2} = 117.3N$$

4.1.7 Cálculo de los Momentos Torsor de Rueda

$$F = \frac{Tr}{D/2}$$

Donde:

D: diámetro exterior de la rueda motriz en m

F: fuerza motriz transmitida tangencialmente por el neumático al suelo en N

Tr: par transmisible por las ruedas motrices en Nm

$$Tr = F \times \frac{D}{2} = 117.3 \times \frac{0.62}{2} = 37.5Nm$$

4.1.8 Cálculo de los Momentos Torsor Diferencial

Transmite tracción a las dos ruedas, el diferencial propulsa dos ruedas

$$Tot_{diferencial} = 37.5Nm + 3705Nm = 75.1Nm$$

$$\eta_{diff} = \eta_r = 297.6rpm$$

Relación de transmisión:

$$\frac{T_r}{T_b} = \frac{\eta_b}{n_r} = T_b = \frac{T_{dif} \times N_{dif}}{\eta_b} = \frac{297.6rpm \times 75.1Nm}{892.7rpm} = 25Nm$$

4.1.9 Cálculo de los Momentos Torsor Motor

$$T_m = \frac{\eta_b \times T_b}{\eta_m} = 892.7 \times 25Nm / 3231rpm = 7.08Nm$$

4.1.10 Cálculo de las Potencias

$$P = \frac{T \times n}{60/2\pi}$$

2.1.1.1 Potencias en las Ruedas

$$P_r = \frac{T_r \times \eta_r}{60/2\pi} = \frac{37.55Nm \times 297.6rpm}{60/2\pi} = 1170.1w = 1,17KW$$

3.1.1.1 Potencias motor

$$P_m = \frac{T_m \times \eta_m}{60/2\pi} = \frac{7.08Nm \times 3231rpm}{60/2\pi} = 2395w = 2.39kw$$

4.1.11 Rendimientos de Potencia

4.1.1.1 Rendimiento motor

$$\eta = \frac{P_{entrada}}{P_{salida}}$$

Figura N° 4.1: Perdida de Potencia

Componente	Potencia de entrada (kW)	Potencia de salida (kW)	Potencia perdida (kW)	Rendimiento (%)	Perdidas (%)
Motor	33,26	2,47	30,61	7,42	92,58
Embrague	2,47	2,47	0,00	100,00	0,00
Frenos	-	-	-	-	-
Caja de cambios	2,47	2,35	0,12	95,24	4,76
Transmisión	2,35	2,28	0,07	97,09	2,91
Diferencial	2,28	1,17-1,17	0,00	100,00	0,00
Neumático D/I	1,17	0,64	0,53	54,70	45,30
Neumático D/D	1,17	0,64	0,53	54,70	45,30
Neumático T/I	0,00	0,48	-0,48	-	-
Neumático T/D	0,00	0,48	-0,48	-	-

Fuente: (Datos de Toyota Corporación)

5.1.1.1 Rendimiento de la Transmisión

$$\eta_t = \frac{Pr}{Pm} = \frac{2,355}{2,557} = 92\%$$

4.1.12 Rendimiento Total del Modelo

$$\eta_t = \eta_{motor} \times \eta_{sistema\ de\ transmision} \times \eta_{ruedas}$$

$$\eta_t = 0.0742 \times 0.92 \times 0.5470 = 0.037 = 3.73\%$$

4.1.13 Calculo de Energía del Combustible del Motor Térmico

$$E_d = C_t \times P_c \times \delta \tag{4.1}$$

Donde:

Ct: Consumo total (l)

Pc: Poder calorífico de la gasolina 10509 kcal/kg

□ : Densidad de la gasolina 0.76 kg/l

El consumo de combustible del motor del motor térmico es litros/hora es aproximadamente de 1.2 l/h

$$E_d = 1.2 \text{ l/h} \times 10509 \text{ kcal/kg} \times 0.76 \text{ kg} = 19584.208 \text{ kcal/h}$$

4.1.14 Energía que Consume el Motor Eléctrico

La energía que consume el motor eléctrico es en amp, a la entrada del motor eléctrico, La variación de tiempo y velocidad en el motor es adecuada para el consumo de energía.

Tabla N° 4.1: Consumo de Corriente del Motor Eléctrico

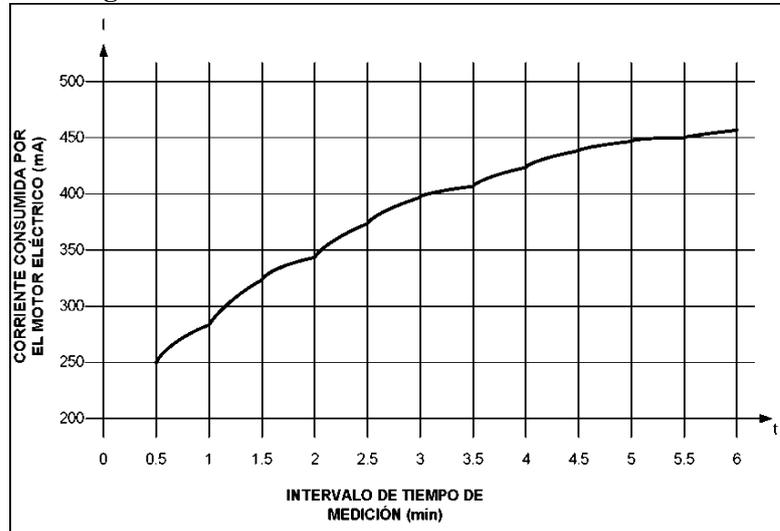
INTERVALO DE TIEMPO DE MEDICIÓN (min)	VELOCIDAD DEL MOTOR ELÉCTRICO (rpm)	CORRIENTE CONSUMIDA POR EL MOTOR ELÉCTRICO (mA)
0.5	150	270
1	300	290
1.5	450	320
2	600	340
2.5	750	370
3	900	390
3.5	1050	410
4	1200	420
4.5	1350	430
5	1500	440
5.5	1650	450
6	1800	460

Elaboración propia

la medición se muestra en la tabla 4.1, los valores de corriente consumida por el motor eléctrico vs velocidad del motor eléctrico. En la figura 4.1 se puede observar la curva de consumo de corriente eléctrica del motor eléctrico. Utilizando estos valores se calcula un

valor aproximado del consumo de energía del motor eléctrico a través de una aproximación lineal (figura 4.2).

Figura N° 4.2: Curva de Consumo del Motor Eléctrico



Elaboración propia

Partiendo de la curva aproximada del consumo de corriente del motor eléctrico (figura 4.2) se puede obtener la ecuación de la recta. En primer lugar, es necesario calcular la pendiente de la recta entre los puntos a y b. valores de corriente consumida por el motor eléctrico vs velocidad del motor eléctrico. En la figura 4.1 se puede observar la curva de consumo de corriente eléctrica del motor eléctrico.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \tag{4.3}$$

Donde:

m: La pendiente entre dos puntos.

y₂: Coordenada de “y” del punto 2 (460).

y₁: Coordenada de “y” del punto 1 (270).

x_2 : Coordenada de “x” del punto 2 (6).

x_1 : Coordenada de “x” del punto 1 (0.5).

Reemplazando los valores en la ecuación 4.3.

$$m = \frac{460 - 260}{6 - 0.5} = 34.5$$

De la ecuación general de la recta.

$$y - y_1 = m(x - x_1) \quad (4.4)$$

Donde:

y: Variable “y”

y_1 : Coordenada de “y” del punto 1.

m: La pendiente entre dos puntos.

x: Variable “x”

x_1 : Coordenada de “x” del punto 1.

Homologando la ecuación 4.4 con la variable de corriente en función del tiempo:

$$i - i_1 = m(t - t_1) \quad (4.5)$$

Donde:

i : La corriente eléctrica en función del tiempo (mA)

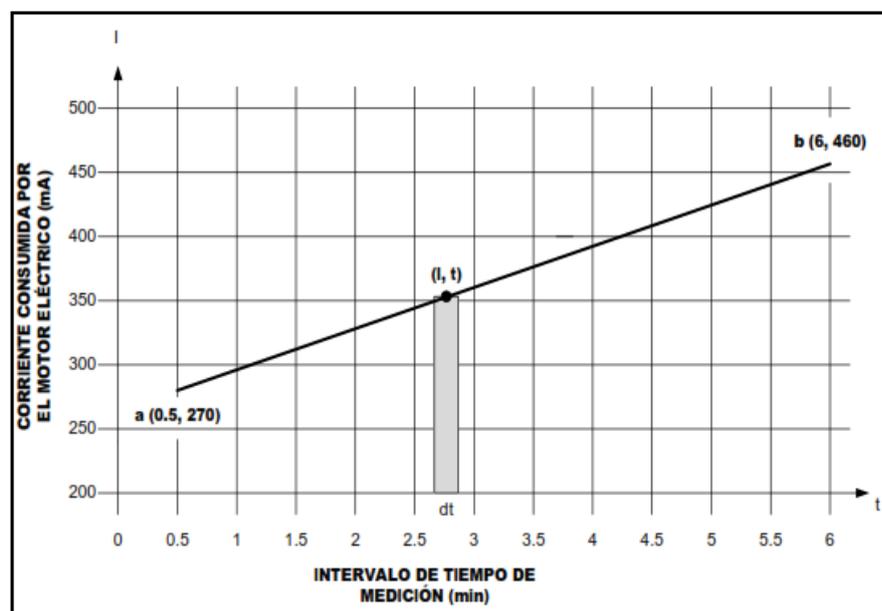
i_1 : Corriente eléctrica inicial (270mA)

m : La pendiente entre dos puntos 34.5

t : Tiempo (seg)

t_1 : Tiempo inicial (0.5min)

Figura N° 4.3: Aproximación de la Curva de Consumo



Elaboración propia

Reemplazando los valores en la ecuación 4.5

$$i - 270 = 34.5(t - 0.5) \quad (4.6)$$

$$i(t) = 34.5t + 252.75$$

La ecuación de la potencia eléctrica. Consumida por el motor eléctrico

$$P_c = vxi \quad (4.7)$$

Donde:

v: Voltaje de alimentación. (V)

i: Corriente consumida en función del tiempo. (mA)

La ecuación de la energía eléctrica consumida por el motor eléctrico

$$E = P_c xt \quad (4.8)$$

Donde:

PC: Potencia consumida por el motor eléctrico (m.W)

t: tiempo (min)

Reemplazando datos de las ecuaciones

$$E = vxixt \quad (4.9)$$

Derivando la ecuación de cambio de la energía eléctrica consumida en función del tiempo.

$$\partial E = (vxi)\partial t \quad (4.10)$$

Integrando la ecuación y asumiendo el voltaje de alimentación como una constante de 220V.

$$\int \partial E = 220x \int_{0.5}^6 i \partial t \quad (4.11)$$

Reemplazando datos en ecuación:

$$E = 220x \int_{0.5}^6 (34.5t + 252.75) \partial t$$

Resolviendo:

$$E = 220x |17.25t^2 + 252.75t|_{0.5}^6$$

$$E = 220x [(17.25(6^2 + 252.75(6)) - (17.25(0.5)^2 + 252.75(0.5)))]$$

Entonces la energía consumida por el motor es:

$$E = 441.5. W. min$$

4.1.15 Potencia que Entrega la Batería

La potencia que entrega la batería está funcionando a máxima carga.

$$P_b = V_b x I_b \quad (4.13)$$

Donde:

vb: Voltaje mínimo de la batería (12V)

ib: Corriente que entrega la batería (7A)

Reemplazando los valores en la ecuación 4.13

$$P_b = 12V \times 7A \quad (4.14)$$

$$P_b = 80W$$

4.1.16 Potencia del Alternador a la Batería

Donde:

Pa: Potencia que provee el alternador (W)

vb: Voltaje nominal de la batería (12V)

Ia: Corriente que entrega el alternador en horas (85A/h)

Reemplazando los valores en la ecuación 4.13

$$P_b = 12V \times 85A/h \quad (4.15)$$

$$P_b = 1020W/h$$

4.1.17 Tiempo de Carga de la Batería

4.1.18 Carga Teórica de Batería

La potencia que entrega el alternador a la batería y la potencia que entrega la batería a los al sistema híbrido, se puede calcular el tiempo (teórico) necesario para cargar la batería hasta su voltaje máximo permitido de 12.5 VDC.

$$Tc = P_b / P_a \quad (4.16)$$

Donde:

TC: Tiempo de carga (min)

Pb: Potencia de la batería (80W)

Pa: Potencia del alternador a la batería (1020W/h)

Reemplazando los valores en la ecuación 4.16

$$T_c = \frac{80W}{1020W/h}$$

$$T_c = 4.7min$$

El tiempo para que el voltaje de la batería vuelva a disponer de su voltaje máximo de 12.5 VDC es de aproximadamente 4.7 minutos. Cuando la batería alcanza estos niveles de voltaje el motor de combustión interna se apaga.

4.1.19 Consumo del Combustible

De la ecuación de la energía aportada por un combustible:

$$E_d = V_c \times P_c \times \delta \quad (4.17)$$

Donde:

Ed: Energía que aporta el combustible (9584.208Kcal/h)

Vc: Volumen de combustible consumido (l)

δ : Densidad de la gasolina (0.76Kg/l)

Pc: Poder calorífico de la gasolina (10509Kcal/Kg)

Despejando el volumen de combustible:

$$Vc = \frac{Ed}{\partial x P_c}$$

Reemplazando ecuación 4.17

$$Vc = \frac{9584.208 Kcal/h}{0.76 Kcal \times 10509 Kcal/Kg}$$

$$Vc = 1.2 l/h$$

4.1.20 Cálculo de la Potencia para Mover el Vehículo Híbrido

Calculamos la resistencia a la rodadura

$$R_r = \mu \times p \quad (4.18)$$

Donde:

μ : coeficiente de rodadura ($\mu = \mu_0 + K \times V^2$)

p : peso del vehículo (1120kg)

Donde

μ_0 : 0.02 por asfalto

K : $0.5 \times 10^{-6} \text{ (km/h)}^{-2}$

V : velocidad en (Km/h)

Hallando coeficiente de rodadura

$$\mu = 0.02 + 0.5 \times 10^{-6} \times V^2 \quad (4.19)$$

$$R_r = (0.02 + 0.5 \times 10^{-6} \times V^2) 1120 \text{ Kg}$$

$$R_r = 22.4 \cdot 5.6 \times 10^4 V^2$$

Calculamos la resistencia aerodinámica

Donde:

$$R_a = 1/16 C_a S V^2 \quad (4.20)$$

C_a : coeficiente de penetración aerodinámica (0.3 a 0.4)

S : superficie frontal del vehículo (m²) (ancho y altura del vehículo)

V : velocidad en m/s

$$S = 0.85 \times a \times b$$

$$S = 0.85 \times 1.37 \times 1.527 = 1.78 \text{ m}^2$$

consideramos un coeficiente aerodinámico de 0.3

$$R_a = 1/16 \times 0.3 \times 1.78 \times V^2$$

$$R_a = 0.0334 \times V^2$$

Calculamos la resistencia a las pendientes

$$R_p = P \times \text{sen } \alpha = P \times X / 100$$

Reemplazando ángulo de pendiente

$$R_p = 1120 \times \text{sen } \alpha$$

La resistencia total al avance

$$R_t = R_r + R_a + R_p$$

Calculamos la potencia necesaria que requiere el vehículo para vencer la resistencia al avance a una determinada velocidad y el rendimiento de la transmisión.

$$P_w = \frac{R_t x V}{75 \eta_t} (\text{CV})$$

Donde:

P_w : potencia (CV)

R_t : resistencia al avance total (Kg.)

V : velocidad (m/s)

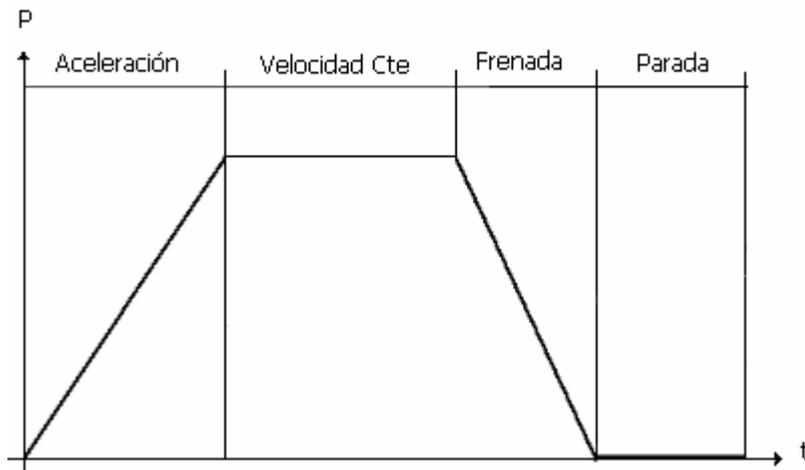
η_t : rendimiento de la transmisión (0.8 a 0.85)

Tabla N° 4.2: Potencias del Vehículo de Combustión

V(m/s)	α	R_r (Kg)	R_a (Kg)	R_p (Kg)	R_T (Kg)	P_w (CV)
10	0	23.13	3.34	0.00	26.47	4.41
15	0	24.03	7.51	0.00	31.54	7.88
17	0	24.49	9.65	0.00	34.14	9.67
20	0	25.30	13.36	0.00	38.66	12.88

Elaboración propia

Analizando, podemos decir que el vehículo al alcanzar una velocidad de 17 m/s equivalente a 61.2 Km/h, requiere de una potencia de 9.67 Hp. Es decir, al utilizar un motor eléctrico de 10 Hp podremos alcanzar una velocidad máxima promedio de 60 Km/h.

Figura N° 4.4: Ciclos del Vehículo Toyota

Fuente (Diseño de Velocidades Vehículo Toyota)

El coeficiente de penetración aerodinámica de $C_x = 0.38$, un coeficiente a la rodadura de $\mu = 0.018$, un rendimiento de la transmisión del 85%, un rendimiento del motor eléctrico de 87%, la densidad de energía de la batería de 30 Wh/Kg (vista en catalogo), y además se pretende que el vehículo tenga una autonomía de 30 Km. podemos calcular la capacidad de las baterías necesaria para cubrir un ciclo urbano

$$n^{\circ} \text{ de ciclos} = \frac{\text{autonomia}}{\text{longitud recorrida en un ciclo}} = \frac{30000}{400} = 75$$

Calcular la resistencia total al avance con la velocidad de 47 Km/h. Para esto procedemos primeramente a calcular la resistencia a la rodadura

$$R_r = \mu \times p$$

$$R_r = 20.16 \text{ Kg.}$$

Calculamos la resistencia aerodinámica

$$Ra = \frac{1}{16} \times C \times S \times v^2$$

$$Ra = \frac{1}{16} \times 0.38 \times 1.78 \times 13.05^2 = 7.19$$

$$Ra = 7.19 \text{ Kg}$$

La resistencia a la pendiente se la considera cero

$$R_T = 7.19 + 20.16 + 0.00 = 27.35 \text{ Kg.}$$

La potencia en los bornes del motor eléctrico

$$P_b = \frac{R_T \times V \times 735}{\eta_t \times \eta_e \times 75}$$

$$P_b = \frac{27.35 \times 13.05 \times 735}{0.85 \times 0.87 \times 75} = 4730 \text{ w}$$

La energía consumida en un ciclo completo

$$E_{\text{aceleración}} = P_b \times t_{\text{medio}} = 4730 \times 16/2 = 37839 \text{ ws.}$$

$$E_{\text{media}} = P_b \times t = 4730 \times 16 = 75680 \text{ ws.}$$

$$E_{\text{ciclo}} = E_{\text{aceleración}} + E_{\text{media}} + E_{\text{frenada}} + E_{\text{parada}}$$

$$E_{\text{ciclo}} = 113519 \text{ ws.}$$

CONCLUSIONES

PRIMERO: El consumo de combustible del sistema híbrido de configuración en serie disminuye considerablemente comparado con un sistema convencional, ya que el motor de combustión interna funciona únicamente en determinadas condiciones de marcha. De esta manera se logra reducir la contaminación por emisión de gases y ruidos durante el funcionamiento del motor eléctrico.

SEGUNDO: Los sistemas híbridos son completamente autónomos; es decir no necesitan una carga externa, el único abastecimiento que necesita es el combustible (gasolina), manteniendo las prestaciones y autonomía que brindan los vehículos convencionales.

TERCERO: En el caso de que el sistema híbrido en configuración en serie desarrollado en este trabajo de grado sea implementado a un vehículo convencional se recomienda usar como único sistema de propulsión el motor eléctrico Además modificar el conjunto mecánico de caja de cambios debido a que la transmisión es completamente eléctrica, logrando beneficios como la disminución del peso neto y las pérdidas por eficiencia.

CUARTO: Como sistema alternativo de carga de las baterías, se recomienda la implementación de frenos regenerativos o colocar pequeños alternadores o dínamos en cada rueda, con lo cual se consigue una cantidad de energía extra.

SUGERENCIAS

PRIMERO: Para diagnosticar el principio de funcionamiento de un sistema híbrido de configuración en serie, es necesario que se diferencie claramente los componentes y elementos de las dos etapas (térmica y eléctrica) presentes en el sistema. La etapa térmica tiene como finalidad cargar la batería del sistema híbrido, cuando el nivel de voltaje en el acumulado de energía llega a un mínimo valor admisible. La función de la etapa eléctrica es la de proveer de potencia al motor eléctrico.

SEGUNDO: Como fuente de almacenamiento de energía se utiliza una batería es de plomo - ácido de 12 VDC de capacidad nominal con 40 Amperios de capacidad disponible. Los momentos de funcionamiento o de detenimiento del motor de combustión interna depende únicamente del nivel de voltaje de batería de plomo ácido.

TERCERO: Para controlar la velocidad del motor eléctrico se realiza con una alimentación de 220 VCA, este nivel de voltaje se logra a la salida del inversor convirtiendo la corriente continua en corriente alterna.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO. J: comp., *Técnicas del Automóvil - Motores*. International Thomson Editores Spain Paraninfo, S.A. 2000. 10^{ma} edición. España. pg. 755.
- BOJKO. J: comp., *Manual de Inyección Electrónica*. Artes Gráficas Negri S.R.L. 2004. 1^{ra} edición. Argentina. pg 658.
- BOLTON. W: comp., *Mecatrónica*. Alfaomega. 2010. 4^{ta} edición. México. pg 62.
- CENGEL. Yunus: comp., *Termodinámica*. McGraw - Hill. Quinta edición. 2002. México. pg 925.
- HAMROCK. B: comp., *Elementos de máquinas*. McGraw - Hill- Interamericana Editores [S.A]. 2000. 1^{ra} Edición- México. pg 904.
- HERMOGENES. G: comp., *La Electrónica en el Automóvil*. Grupo Editorial CEAC. 2002. 1^{ra} edición. España. pg 292.
- RIBBENS. W: comp., *Electrónica automotriz*. Limusa. Grupo Noriega 2008. 1^{ra} edición. México D.F. pg 109.
- RICHARD. G: comp., *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. McGraw - Hill- Interamericana Editores [S.A]. 2008. 8^{va} Edición- México. pg 1043.,
- TOALONGO. M: comp., *Fundamentos de soldadura*. ProleLaser. 2006. 2^{da} edición. Ecuador. pg 193.
- TOYOTA MOTOR CORPORATION. *Toyota Hybrid System*. [en línea]. Public Affairs Division 4-8. [Koraku, Japón], Mayo 2003. Disponible en: <http://toyota.co.jp>. Enero 2012.
- TOYOTA MOTOR CORPORATION. *Prius Emergency Response Guide*. [en línea].

Public Affairs Division 4-8. [Koraku, Japón], 2000. Disponible en: <http://toyota.co.jp>

- UNIVERSIDAD POLITECNICA DEL LITORAL. *Implementación y Análisis de un Prototipo de Vehículo Híbrido*. [en línea]. Jorge Enrique Alcívar García. [Guayaquil - Ecuador]. 2006. Disponible en: <http://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/416/1/718.pdf> . Febrero 2012.