



**Análisis eléctrico y mecánico en los modos de operación en el sistema transeje del
vehículo híbrido Toyota Lexus**

Farinango Toro, Wilmer Fabian

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Quiroz Erazo, José Lizandro

Octubre del 2020

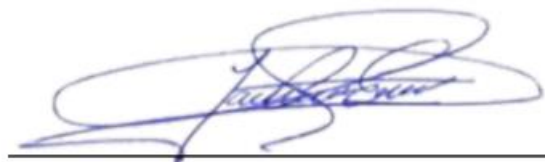
Latacunga



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "**Análisis eléctrico y mecánico en los modos de operación en el sistema transeje del vehículo híbrido Toyota Lexus**" fue realizado por el señor **Wilmer Fabian Farinango Toro**, él ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 30 de octubre del 2020



Ing. Quiroz Erazo, José Lizandro

C.C.:0502312796

REPORTE DE URKUND



Document Information

Analyzed document	TESIS ANALISIS SISTEMA TRANSEJE FARINANGO QUIROZ ERAZO URK.pdf (D83202041)
Submitted	10/30/2020 4:51:00 AM
Submitted by	Quiroz Erazo Jose Lizandro
Submitter email	jlquiroz@espe.edu.ec
Similarity	7%
Analysis address	jlquiroz.espe@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187220/vehiculohibrido_1_260117.pdf Fetched: 10/30/2020 4:52:00 AM		4
W	URL: https://blogthinkbig.com/funcionamiento-del-motor-hibrido Fetched: 10/30/2020 4:52:00 AM		1
W	URL: http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/Autos_Hibridos.pdf Fetched: 10/30/2020 4:52:00 AM		2
W	URL: https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2868/1/T-ESPEL-0759.pdf Fetched: 5/30/2020 5:07:21 AM		5
W	URL: https://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2012/CVOEGSSECTCPZCTHBFCH/Informe%20final_Au ... Fetched: 10/30/2020 4:52:00 AM		2
SA	MARCO TEORICO.pdf Document MARCO TEORICO.pdf (D35912755)		1
SA	HURTADO ALVARADO - CORAL ROJAS.pdf Document HURTADO ALVARADO - CORAL ROJAS.pdf (D50683589)		1
W	URL: https://docplayer.es/81468715-Universidad-del-azuay.html Fetched: 5/23/2020 8:45:21 PM		3

Ing. Quiroz Erazo, José Lizandro

C.C.:0502312796



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Wilmer Fabian Farinango Toro**, con cédula de ciudadanía n° 172274484-2, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Análisis eléctrico y mecánico en los modos de operación en el sistema transeje del vehículo híbrido Toyota Lexus** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerza Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros t referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 30 de octubre del 2020

Farinango Toro, Wilmer Fabian

C.C: 172274484-2



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Wilmer Fabian Farinango Toro**, con cédula de ciudadanía n° 172274484-2 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Análisis eléctrico y mecánico en los modos de operación en el sistema transeje del vehículo híbrido Toyota Lexus** en el repositorio, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 30 de octubre del 2020

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines, positioned above a horizontal line.

Farinango Toro, Wilmer Fabian

C.C: 172274484-2

DEDICATORIA

A mis padres, María Elena Toro y José Gustavo Farinango que han sido los pilares fundamentales en mi formación tanto humana como profesional siempre sirviendo como un gran ejemplo de vida, a mis hermanos que siempre han estado presentes brindándome su apoyo, a la familia Inaquiza Vizcaíno que me han acogido con cariño y apoyo, por ultimo a mi Sambita bella, Esthela Inaquiza que me ha brindado toda la confianza, apoyo incondicional y amor dándome la inmensa alegría de ser padre con mi hermosa hija Conny Julianna Farinango Inaquiza, quien ahora es la motivación principal de superación en nuestras vidas.

Farinango Toro, Wilmer Fabian

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por todo el apoyo en mi vida personal, estudiantil y laboral, ya que gracias a sus sabios consejos han formado una persona de bien y un profesional integro, a mis hermanos quienes de una u otra forma me han apoyado en esta etapa de mi vida, a la familia Inaquiza Vizcaíno quienes me han apoyado a culminar esta etapa de mi vida, a mi universidad y maestros quienes me brindaron su apoyo y conocimiento con lo que podre sobresalir en el ámbito laboral y agradezco inmensamente a mi Sambita bella por todo su apoyo, amor y por darme un motivo más para seguir adelante mi bella hija Conny Julianna.

Farinango Toro, Wilmer Fabian

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	1
CERTIFICACIÓN	2
REPORTE DE URKUND	3
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	4
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO	7
ÍNDICE DE CONTENIDOS	8
ÍNDICE DE TABLAS	14
ÍNDICE DE FIGURAS	15
RESUMEN	18
ABSTRACT	19
CAPÍTULO I	
MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.1 Antecedentes investigativos	20
1.2 Planteamiento del problema	21
1.3 Descripción resumida del proyecto	22
1.4 Justificación e Importancia	23
1.5 Objetivos	24

1.5.1	Objetivo General.....	24
1.5.2	Objetivos específicos.....	24
1.6	Metas.....	25
1.7	Hipótesis.....	25
1.8	Variables de la investigación	25
1.8.1	Variable dependiente.....	25
1.8.2	Variable independiente.....	27
1.9	Metodología de desarrollo del proyecto	28
1.9.1	Método Inductivo	28
1.9.2	Método deductivo	28
1.9.3	Método analítico	29
1.9.4	Método experimental	29
1.9.5	Método comparativo.....	29
1.9.6	Método de matematización.....	29
 CAPÍTULO II		
MARCO TEÓRICO.....		33
2.1	Introducción.....	33
2.2	Funcionamiento de los vehículos híbridos	35
2.3	Ventajas.....	37
2.4	Desventajas.....	38
2.5	Configuración de los vehículos híbridos.....	39

		10
2.5.1	Configuración Serie	39
2.5.2	Configuración Paralelo	40
2.5.3	Configuración Serie-Paralelo.....	42
2.5.4	Comparación de los Tipos de Configuraciones	43
2.6	Componentes	44
2.6.1	Motor térmico	44
2.6.2	Moto-Generadores.....	46
2.6.3	Motor Generador 1 (MG1)	46
2.6.4	Motor Generador 2 (MG2)	47
2.6.5	Funcionamiento de los MG.....	48
2.6.6	Baterías de alto voltaje	49
2.6.7	Inversor	53
2.6.8	Freno regenerativo	54
2.6.9	Sistema de Enfriamiento Inversor y Moto generadores.....	55
2.7	Tren de transmisión híbrido	56
2.7.1	Transeje híbrido	57
2.7.2	Relación de transmisión en el tren epicicloidal o engranaje planetario	59
2.8	Modos de funcionamiento del sistema transeje	60
2.8.1	“Motor parado e ignición colocada	60
2.8.2	Motor parado con motor a gasolina.....	60
2.8.3	Rodando con motor eléctrico.....	61

	11
2.8.4 Rodando de manera mixta (2 motores)	62
2.8.5 Cargando la batería	63
2.8.6 En freno regenerativo	64
2.8.7 Rodando en retro	64
2.9 Fórmulas para el cálculo de engranajes.....	73
2.10 Software SolidWorks	74
2.10.1 SolidWorks Simulation.....	74

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA TRANSEJE DEL VEHÍCULO HÍBRIDO

TOYOTA LEXUS RL450H E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DIDACTICO 76

3.1 Proceso de desmontaje del mecanismo Transeje en el grupo motor Toyota Lexus.....	77
3.2 Reconocimiento de los componentes que interviene en el funcionamiento del sistema Transeje.....	82
3.2.1 Sistema de engranajes planetario.....	82
3.2.2 Engranaje central (Solar), MG1, MG2.....	83
3.2.3 Conjunto de engranajes satélites MG1.....	84
3.2.4 Conjunto de engranajes satélites MG2.....	85
3.2.5 Corona de los conjuntos planetarios MG1, MG2.....	86
3.2.6 Bobinados de MG1, MG2.....	88
3.3 Modelado en medidas reales de los elementos que conforman el sistema transeje del grupo motor del vehículo hibrido Toyota Lexus.....	89
3.3.1 Cálculos para el modelado del engranaje Central (solar) MG1.....	89

	12
3.3.2 Cálculos para el modelado del engranaje Central (solar) MG2.....	94
3.3.3 Cálculos para el modelado de los satélites MG1	98
3.3.4 Cálculos para el modelado de los satélites MG2.....	100
3.3.5 Datos para el modelado de las coronas MG1-MG2	104
3.3.6 Datos para el modelado de las bases de los imanes MG1-MG2	105
3.3.7 Datos para el modelado de las bases de los satélites MG1-MG2	106
3.4 Configuración mecánica del sistema transeje en cada uno de los modos de operación.	107
3.5 Análisis eléctrico de operación de los motores generadores en cada uno de los modos de operación.....	114
3.6 Análisis de la relación de transmisión en el sistema transeje del vehículo Toyota Lexus.....	118
3.6.1 Engranaje planetario MG2 en la relación de transmisión.....	119
3.7 Elaboración de la maqueta didáctica para el análisis de los modos de operación en el sistema transeje del vehículo híbrido Toyota Lexus.....	122
3.7.1 Reconocimiento de los elementos a visualizar en la maqueta.....	122
3.7.2 Perforación de coraza.....	124
3.7.3 Montaje del grupo motor en la base.....	125
3.7.4 Especificación de los volantes de mando y de elementos adicionales	126

CAPÍTULO IV

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS MECÁNICO Y ELÉCTRICO EN LOS MODOS DE OPERACIÓN.	127
--	------------

4.1	Análisis de funcionamiento en los modos de operación de la Maqueta didáctica.	127
4.2	Simulación de movimiento en los modos de operación.	138
4.2.1	Simulación de movimientos en los diferentes modos de operación.	139
4.2.2	Edición de los modos de operación.	141
CAPÍTULO V		
MARCO ADMINISTRATIVO		142
4.1	Recursos	142
5.1.1	Recurso humano	142
5.1.2	Recursos Financieros	143
5.1.3	Recursos tecnológicos	143
5.1.4	Recursos materiales	144
CONCLUSIONES		146
RECOMENDACIONES.		147
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		148
ANEXOS		154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de la variable dependiente.....	26
Tabla 2 Operacionalización de la variable independiente.....	27
Tabla 3 Método de matematización.....	30
Tabla 4 Comparación de las configuraciones de vehículos híbridos.....	43
Tabla 5 Tipos de baterías de alta tensión.....	52
Tabla 6 Variantes de desmultiplicación en el engranaje planetario.....	59
Tabla 7 Modos de funcionamiento de transeje híbrido.....	66
Tabla 8 Tabla de fórmulas para el diseño de engranajes.....	73
Tabla 9 Proceso de desmontaje del mecanismo transeje del grupo motor toyota lexus.....	78
Tabla 10 Configuración mecánica del sistema transeje en sus modos de operación.....	108
Tabla 11 Análisis eléctrico del sistema transeje en sus modos de operación.....	114
Tabla 12 Relación de transmisión.....	121
Tabla 13 Análisis de funcionamiento en los modos de operación en la maqueta didactica.....	128
Tabla 14 Recursos humanos.....	142
Tabla 15 Recursos tecnológicos.....	143
Tabla 16 Recursos materiales.....	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vehículo híbrido.....	33
Figura 2 Thomas Edison y un coche eléctrico en 1913.....	34
Figura 3 Funcionamiento de los vehículos híbridos.....	35
Figura 4 Diagrama de funcionamiento de los vehículos híbridos.....	36
Figura 5 Eficiencia de los vehículos híbridos.....	37
Figura 6 Configuración en serie.....	40
Figura 7 Configuración en paralelo.....	41
Figura 8 Configuración serie-paralelo.....	43
Figura 9 Motor de combustión interna.....	45
Figura 10 Diagrama ciclo atkinson.....	45
Figura 11 Moto generadores de los vehículos híbridos.....	46
Figura 12 Motor Generador 1 (MG1).....	47
Figura 13 Motor generador 1 (MG1).....	48
Figura 14 MG1 Y MG2 acoplados.....	49
Figura 15 Batería de alto voltaje.....	50
Figura 16 Batería de alto voltaje.....	51
Figura 17 Inversor.....	54
Figura 18 Freno regenerativo.....	55
Figura 19 Tren de potencia.....	56
Figura 20 Transeje básico.....	57
Figura 21 Engranaje planetario.....	58
Figura 22 Motor térmico en recarga de batería.....	61
Figura 23 Movimiento del vehículo puramente eléctrico (MG2).....	62
Figura 24 Movimiento del vehículo por parte del motor térmico, MG2 y recarga de batería.....	63
Figura 25 Motor de combustión se enciende para recargar la batería.....	63

Figura 26 Recarga de baterías mediante freno regenerativo	64
Figura 27 Movimiento de retroceso puramente eléctrico	65
Figura 28 Software SolidWorks	74
Figura 29 SolidWorks Simulation.....	75
Figura 30 Mecanismo Transeje con las bases y bobinados de MG1 y MG2	77
Figura 31 Conjuntos planetarios MG1, MG2.....	83
Figura 32 Engranajes centrales de MG1, MG2.....	84
Figura 33 Conjuntos de satélites, solar y corona MG1-MCI	85
Figura 34 Conjuntos de satélites, solar y corona MG2	86
Figura 35 Engranaje helicoidal de transmisión al diferencial.....	87
Figura 36 Corona del engranaje planetario MG1-MG2.....	87
Figura 37 Coronas MG1, MG2	88
Figura 38 Bobinados MG1, MG2.....	89
Figura 39 Engranaje central MG1.....	94
Figura 40 Engranaje central MG2.	97
Figura 41 Engranaje satélite MG1	100
Figura 42 Engranaje satélite MG2.....	104
Figura 43 Corona MG1-MG2.....	105
Figura 44 Base de imán del MG2.....	105
Figura 45 Base de satélites MG1	106
Figura 46 Base de satélites MG2	107
Figura 47 Mecanismo transeje	107
Figura 48 Engranaje planetario MG2 en el sistema transeje.....	119
Figura 49 Flujo de movimiento de la relación de transmisión.....	120
Figura 50 Grupo motor generador Toyota Lexus.....	123
Figura 51 Bobinados de MG1 y MG2	123

Figura 52 Ubicación del mecanismo transeje	124
Figura 53 Proceso de perforación y estructura	125
Figura 54 Instalación de los ejes y volantes de mando	126
Figura 55 Maqueta didáctica de los modos de operación del sistema transeje del vehículo híbrido	126
Figura 56 Prototipo de simulación de los modos de operación en el sistema transeje	127
Figura 57 Ensamblaje del sistema transeje	139
Figura 58 Verificación de movimientos.....	139
Figura 59 Simulación de movimientos en los diferentes modos de operación	140
Figura 60 Seccionamiento de elementos que intervienen en cada modo de operación.....	141
Figura 61 Edición detallada de video demostrativo	141

RESUMEN

La necesidad de la conservación del medio ambiente y la búsqueda que nuevos tipos de energía, han impulsado a la industria automotriz para la innovación de tecnología que aporte al descubrimiento de fuentes de energía limpia y renovable, al momento los avances tecnológicos está enfocada en los vehículos híbridos y eléctricos puros, los cuales están adentrándose con una gran intensidad al mercado nacional, lo que conlleva a la necesidad de profundizar en el conocimiento del funcionamiento de este tipo de vehículos para de esta manera poder aportar a la rápida inclusión de los mismos. Los vehículos híbridos al utilizar dos o más fuentes de energía para optimizar su funcionamiento, en este caso utilizan dos conjuntos de engranajes planetarios que al conjugarse conforman el sistema transeje y logran acoplar y desacoplar el movimiento de tres fuentes de energía MG1, MG2 y MCI. En la investigación se realizara el reconocimiento de los elementos que conforman el sistema transeje elaborando un prototipo didáctico en el que podremos observar físicamente el funcionamiento de cada uno de los elementos y por otro lado se realizara el modelado de sus elementos en un software especializado para de esta manera analizar más a fondo el funcionamiento mecánico y eléctrico de los elementos que conforman el sistema transeje en cada uno de sus modos de operación.

PALABRAS CLAVE:

- **VEHÍCULOS HÍBRIDOS**
- **SISTEMA TRANSEJE**
- **DIVISOR DE POTENCIA.**
- **MODOS OPERACIÓN.**
- **TREN EPICICLOIDAL**

ABSTRACT

The need for environmental conservation and the search that new types of energy have driven the automotive industry for innovation in technology that contributes to the discovery of clean and renewable energy sources, at the moment technological advances are focused on hybrid and pure electric vehicles, which are entering the national market with a great intensity, which leads to the need to deepen the knowledge of the operation of this type of vehicles so that we can contribute to the rapid inclusion of them. Hybrid vehicles using two or more energy sources to optimize their operation, in this case they use two planetary gear sets that when combined form the transaxle system and are able to engage and disengage the motion of three MG1, MG2 and MCI energy sources. In the research, the recognition of the elements that make up the transaxle system will be carried out, drawing up a didactic prototype in which we can physically observe the operation of each of the elements and on the other hand the modeling of its elements in a specialized software, to further analyze the mechanical and electrical operation of the elements that make up the transaxle system in each of its modes of operation.

KEY WORDS:

- **HYBRID VEHICLES**
- **TRANSEJE SYSTEM**
- **POWER DIVIDER**
- **OPERATION MODES.**
- **EPICICLOIDAL TRAIN**

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

ANÁLISIS ELÉCTRICO Y MECÁNICO EN LOS MODOS DE OPERACIÓN EN EL SISTEMA TRANSEJE DEL VEHÍCULO HÍBRIDO TOYOTA LEXUS

1.1 Antecedentes investigativos

En el paso del tiempo la industria automotriz ha tenido importantes avances tecnológicos, implementando sistemas los cuales están guiados principalmente a cubrir una de las necesidades más grandes en nuestro planeta, la cual es, reducir el impacto ambiental que esta industria ocasiona por el tipo de energía que se utiliza para poner los vehículos en marcha.

Uno de los avances tecnológicos que se ha desarrollado para la conservación del medio ambiente son los vehículos híbridos. Los cuales son llamados así por que utilizan dos o más formas de energía para su puesta en marcha, la configuración de estos vehículos pueden ser en paralelo y en serie, en la configuración en paralelo el movimiento a las ruedas es transmitido tanto por el motor eléctrico como por el motor de combustión interna, al contrario de la configuración en serie ya que en esta se utiliza el motor de combustión interna exclusivamente para generar energía eléctrica y el motor eléctrico es el único que transmite movimiento a las ruedas.

Henrie Pieper, fue el primero en fabricar un vehículo híbrido en 1899. Un año más tarde, en 1900, Ferdinand Porsche desarrolló una serie de vehículos híbridos con el motor en la rueda y

con un generador de combustión para proporcionar la energía eléctrica, estableciendo dos récords de velocidad. Entre 1978 y 1979, David Arthurs, ingeniero eléctrico de Springdale, inventó el vehículo híbrido con frenado regenerativo. (CONUEE, p.1)

La reducción del índice de contaminación ambiental alcanzado por esta nueva tecnología hizo que los vehículos híbridos sean acogidos en el país, es por ello que se ve necesario realizar el estudio más profundo del funcionamiento de este tipo de autos.

Al inicio de la implementación de un vehículo con mejor eficiencia energética, surgió la idea de reducir el consumo de combustible y elevar la velocidad, para ello fue necesario acoplar un motor eléctrico al de combustión interna, el mecanismo que logra acoplar estos dos elementos es el dispositivo divisor de potencia (transeje), el cual tiene varios modos de operación los que se detallara en este proyecto.

1.2 Planteamiento del problema

Esta investigación se da tras el gran aporte en la disminución de emanación de gases contaminantes que generan los vehículos híbridos y la falta de conocimiento del funcionamiento de estos ocasionando temor tanto en; personas comunes al adquirirlos por elevados costos en reparaciones, como en los ingenieros automotrices y técnicos de la misma rama por la falta de información del mecanismo, modos de operación, bancos de pruebas y herramienta especializada.

Los modos de operación al ejecutarse eficientemente logran llegar al objetivo del vehículo híbrido, el cual es acoplar el funcionamiento del MCI con el motor eléctrico para así reducir las emisiones de gases contaminantes contribuyendo con la conservación del ecosistema.

Por lo tanto, el problema a investigar es el comportamiento mecánico-eléctrico de los elementos que conforman el sistema transeje de los vehículos híbridos en cada uno de los modos de operación.

1.3 Descripción resumida del proyecto

El proyecto "Análisis eléctrico y mecánico en los modos de operación en el sistema transeje del vehículo híbrido Toyota Lexus" considero los siguientes aspectos:

Se recopiló información tomando en cuenta su procedencia considerando únicamente fuentes confiables como son libros, tesis, manuales, fichas técnicas, normas y publicaciones gubernamentales.

La implementación se desarrolló en el laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L, Campus Belisario Quevedo realizando las pruebas y análisis de los modos de operación del sistema transeje del grupo motor del vehículo híbrido Toyota Lexus de tercera generación.

Se procedió a realizar el desarmado para identificar cada uno de los componentes y posterior determinación de las características mecánico-eléctricas que desempeña cada uno

de ellos.

Se realizó el análisis de la configuración mecánica del sistema transeje en cada uno de los modos de operación.

Se analizó eléctrico de operación de los motores generadores en cada uno de los modos de operación.

Se determinó el comportamiento mecánico de la relación de transmisión generada en el sistema transeje en cada uno de los modos de operación.

Además, se realizó la simulación de funcionamiento del mecanismo divisor de potencia o transeje con la ayuda del software SOLID WORKS, para un mejor entendimiento de los modos de operación del sistema en cuestión.

1.4 Justificación e Importancia

Tras los múltiples avances tecnológicos que han venido ocurriendo en el campo automotriz, especialmente enfocados a la conservación del ecosistema, reduciendo el consumo de combustibles fósiles, hemos podido observar que se está existiendo la aceptación de los vehículos híbridos en nuestro entorno, por esto la escasa información tanto del funcionamiento como de la reparación de este tipo de vehículos, nos incentiva a la realización de este proyecto que servirá como fuente de información didáctica y para posteriores investigaciones que pueden aportar en el desarrollo tecnológico.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Análisis eléctrico y mecánico en los modos de operación en el sistema transeje del vehículo híbrido Toyota Lexus.

1.5.2 Objetivos específicos

- Buscar información confiable en bases digitales y escritas referentes al tema en mención que permitan sustentar la investigación.
- Desarrollar procesos de montaje, desmontaje y verificación del funcionamiento del sistema transeje.
- Realizar el análisis de la configuración mecánica del sistema transeje en cada uno de los modos de operación.
- Realizar el análisis eléctrico de operación de los motores generadores en cada uno de los modos de operación.
- Definir los modos de operación del sistema transeje del vehículo híbrido bajo diferentes condiciones de funcionamiento.
- Utilizar un software especializado para simular los modos de operación mecánico y eléctrico del sistema transeje de los vehículos híbridos.

1.6 Metas

- Analizar el comportamiento mecánico y eléctrico de cada uno de los elementos que conforman el mecanismo transeje en cada uno de los modos de operación.
- Realizar el análisis mecánico de la relación de transmisión generada en el sistema transeje en cada uno de los modos de operación.
- Elaborar el prototipo didáctico, el cual se complemente con el modelado del mecanismo en un software especializado para facilitar el entendimiento de los modos de operación del sistema transeje.

1.7 Hipótesis

¿El prototipo del funcionamiento del sistema transeje (mecanismo divisor de potencia) de los vehículos híbridos, permitirá determinar el comportamiento mecánico-eléctrico de cada uno de los elementos que conforman este sistema en los diferentes modos de operación del sistema híbrido?

1.8 Variables de la investigación

1.8.1 Variable dependiente

Modos de operación del sistema transeje de los vehículos híbridos

Tabla 1

Operacionalización de la variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Los modos de operación son las distintas etapas y fases en las que se activa el sistema mecánico eléctrico de un vehículo híbrido.	Tecnología	Ralentí	Rpm	Medición Experimentación. n.	Guía o protocolo de pruebas
		Reversa	Rpm	Medición Experimentación. n.	Guía o protocolo de pruebas
		Plena carga	Rpm	Medición Experimentación. n.	Guía o protocolo de pruebas
		Aceleración	$\frac{m}{s^2}$	Medición Experimentación. n.	Guía o protocolo de pruebas
		Desaceleración	$\frac{m}{s^2}$	Medición Experimentación. n.	Guía o protocolo de pruebas
		Desplazamiento normal	m	Medición Experimentación. n.	Guía o protocolo de pruebas

1.8.2 Variable independiente

Sistema transeje de los vehículos híbridos

Tabla 2

Operacionalización de la variable independiente

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítem	Técnica	Instrumentos
El sistema tras-eje es el conjunto mecánico y eléctrico de vehículo híbrido utilizado para la propulsión.	Tecnología	MG1	V	Medición Experimentación.	Guía de procedimientos
		MG2	V	Medición Experimentación.	Guía de procedimientos
		Planetario	Núm. de diente s	Medición Experimentación.	Guía de procedimientos
		Tren hipocicloidal	Núm. de diente s	Medición Experimentación.	Guía de procedimientos

	Núm.		
Satélites	de	Medición	Guía de
	diente	Experimentación.	procedimientos
	s		

1.9 Metodología de desarrollo del proyecto

Según las características del proyecto se procede a realizar el reconocimiento de los elementos que conforman el mecanismo transeje y el comportamiento de cada uno de ellos en los diferentes modos de operación, los cuales se visualizan en el prototipo didáctico.

1.9.1 Método Inductivo

Se utilizó este método, ya que nos permitió determinar los parámetros de funcionamiento que influyen para la activación de cada uno de los modos de operación del sistema transeje, a través de equipo tecnológico.

1.9.2 Método deductivo

Este método nos ayudó ya que tras el análisis de los modos de operación del sistema transeje, se establecieron conclusiones que nos ayudaran a conocer el comportamiento mecánico-eléctrico de cada uno de los elementos que conforman este sistema.

1.9.3 Método analítico

En el proyecto se aplicó este método ya que permite analizar de forma individual el accionamiento eléctrico y mecánico de cada uno de los modos de operación del sistema transeje del grupo motor de un vehículo LEXUS.

1.9.4 Método experimental

Se utilizó este método, puesto que se realizó la simulación de funcionamiento en el cual se pueda observar el accionamiento mecánico y eléctrico de los elementos del sistema transeje.

1.9.5 Método comparativo

En este proyecto el método comparativo permitió establecer variaciones en la relación de transmisión que se genera en cada uno de los modos de operación del sistema transeje.

1.9.6 Método de matematización

Se aplicó este método para la verificación y comparación de los valores obtenidos en los cálculos de la relación de transmisión que utilizan los vehículos híbridos.

Tabla 3

Método de matematización

Método de matematización			
Táctica / Metodología	Descripción	Instrumento/ equipo	Laboratorio
Inductivo	Se utilizó este método, ya que nos permitirá determinar los parámetros de funcionamiento que influyen para la activación de cada uno de los modos de operación del sistema transeje, a través de equipo tecnológico.	<ul style="list-style-type: none"> • Módulos didácticos del sistema transeje. • Información técnica. • Herramienta especializada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorios Autotrónica
Deductivo	Este método me ayudo ya que tras el análisis de los accionamientos eléctricos y mecánicos de cada uno de los modos de operación del sistema transeje, se establecerán conclusiones que nos ayuden a conocer la función que cumplen los modos de operación.	<ul style="list-style-type: none"> • Módulos didácticos del sistema transeje. • Información técnica. • Herramienta especializada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorios Autotrónica

Método de matematización		
Analítico	<p>En el proyecto se aplicó este método ya que permite analizar de forma individual el accionamiento eléctrico y mecánico de cada uno de los modos de operación del sistema tras-eje del grupo motor de un vehículo LEXUS.</p>	<p>Computador Microsoft Office Tesis Artículos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laboratorios Autotrónica
Experimental	<p>Se utilizó este método, puesto que se realizará la simulación de funcionamiento en el cual se pueda observar el accionamiento mecánico y así obtener mediante equipos automotrices los parámetros de voltaje y aceleración en los cuales se activan cada uno de los modos de operación del sistema transeje.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Módulos didácticos del sistema transeje. • Información técnica. • Herramienta especializada. <ul style="list-style-type: none"> • Laboratorios Autotrónica

Comparativo	En este proyecto el método comparativo permitió establecer variaciones en la relación de transmisión que se genera en cada uno de los modos de operación del sistema transeje.	<ul style="list-style-type: none">• Computador• Microsoft Office• Tesis• Artículos	<ul style="list-style-type: none">• Laboratorios Autotrónica
Matematización	Se aplicó este método para la verificación y comparación de los valores obtenidos en los cálculos de la relación de transmisión que utilizan los vehículos híbridos.	<ul style="list-style-type: none">• Computador• Microsoft Office	<ul style="list-style-type: none">• Laboratorios Autotrónica

CAPÍTULO II

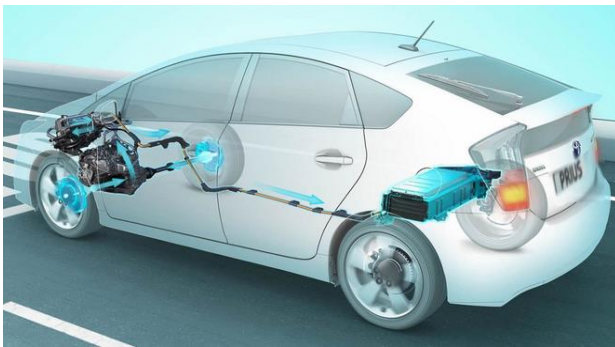
MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

La industria automotriz ha tenido grandes avances tecnológicos, los cuales están guiados a la conservación del medio ambiente reduciendo el consumo de recursos no renovables, por lo que el vehículo híbrido y eléctrico puro, están diseñados para cumplir estos requerimientos.

Figura 1

Vehículo híbrido



Nota: (Vivas, 2020)

Henrie Pieper, un fabricante de vehículos de Bélgica, fue el primero en fabricar un vehículo híbrido en 1899. Un año más tarde, en 1900, *Ferdinand Porsche* desarrolló una serie de vehículos híbridos con el motor en la rueda y con un generador de combustión para proporcionar la energía eléctrica, estableciendo dos récords de velocidad. Entre 1978 y 1979, *David Arthurs*, ingeniero eléctrico de *Springdale*, inventó el vehículo híbrido con frenado regenerativo. (Alfaro, 2017)

Figura 2

Thomas Edison y un coche eléctrico en 1913.



Nota: (Casaravilla, Vignolo, & Oroño, 2012)

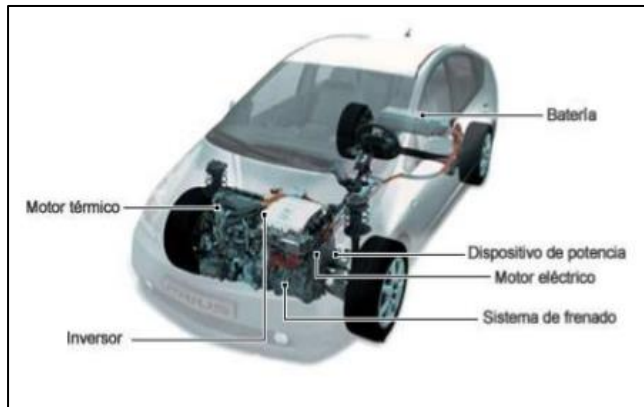
(Serrano, 2015) “En la actualidad, la preocupación y la normativa medioambiental al igual que la crisis del petróleo han vuelto a poner en marcha proyectos de vehículos impulsados por la electricidad y para resolver los inconvenientes de autonomía se han creado vehículos híbridos. (p.55).

Igualmente aprovechan mejor la energía, los motores eléctricos se detienen cuando del vehículo está parado, además, en algunos modelos, el motor actúa como generador y cuando aquellos frenan y deceleran, recoge esta energía y la transmite a las baterías, ahorrando energía.

2.2 Funcionamiento de los vehículos híbridos

Figura 3

Funcionamiento de los vehículos híbridos



Nota: (Lobato, 2016)

Según (CONUEE) “El funcionamiento del vehículo híbrido entra en conjunto con el sistema conocido como start—stop, que se encarga de encender y apagar el motor de combustión interna cuando es necesario; por ejemplo, cuando únicamente se usa el motor eléctrico, el sistema apaga el de combustión interna, pero cuando se requiere que trabajen en conjunto en trayectos más largos, inmediatamente lo enciende. Existen rangos de velocidades para el funcionamiento de los 2 motores: en trayectos cortos y a velocidades bajas, únicamente trabaja el motor eléctrico, y en trayectos largos y velocidades altas, entran en conjunto los dos motores”. (p. 2).

(Perez, 2014) “Menciona que los vehículos híbridos combinan las prestaciones del motor de combustión interna con las del motor eléctrico, con un ahorro notable en combustible y cero emisiones a la atmósfera. La invención del motor híbrido surge de la necesidad de mejorar el

ahorro de combustible en los vehículos actuales y aumentar su potencia, combinando las prestaciones de los motores de gasolina con los motores eléctricos. Dos fuentes de potencia que pueden trabajar juntas, por separado o en paralelo, en función del tipo de uso para el que están diseñados”.

Figura 4

Diagrama de funcionamiento de los vehículos híbridos.



Nota: (Lobato, 2016)

Otra parte importante del vehículo híbrido es el freno regenerativo, que nos ayuda a cargar la batería del motor eléctrico cada vez que se frena el vehículo. Pongamos un ejemplo: vamos en una carretera y se aproxima una pendiente, en el momento de frenar el vehículo para reducir la velocidad en la pendiente, gracias al freno regenerativo, se carga la batería que alimenta el motor eléctrico del vehículo. (Serrano, 2015, p. 51)

Figura 5

Eficiencia de los vehículos híbridos



Nota: (Lobato, 2016)

2.3 Ventajas

Para (Martínez,2014) “Este tipo de vehículos presenta sobre los tradicionales las siguientes ventajas:

- Son capaces de conseguir una eficiencia doble, lo que se consigue por la supresión de la mayor parte de las pérdidas de potencia que se producen en los vehículos tradicionales.
- El sistema de frenado tiene a su vez capacidad regenerativa de la potencia absorbida, lo que reduce las pérdidas de eficiencia.
- 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. Por ello su eficiencia resulta doblada, pudiéndose aligerar el peso y volumen hasta en un 90%.

- El motor puede desactivarse durante la marcha cuando no se necesita.
- La eficiencia del combustible se incrementa, lo que se traduce en reducción de las emisiones. Los diseñadores de automóviles híbridos pretenden conseguir estas ventajas sin que se produzcan pérdidas sustanciales tanto en el rendimiento del vehículo, como en su autonomía y seguridad”. (p.6).

(Martinez, 2014) “Menciona las siguientes ventajas sobre el vehículo eléctrico:

- Incremento de autonomía, ya que esta depende del combustible almacenado en el tanque
- Alto y uniforme rendimiento incluso a bajas temperaturas
- La unidad auxiliar no funciona continuamente, ya que se desactiva automáticamente cuando no es necesaria
- Se elimina la necesidad de recargar las baterías cuando estas se agotan
- El motor de combustión interna funciona bajo un estrecho margen de carga y velocidad, lo que incrementa su eficiencia
- Este sistema de propulsión pesa alrededor de una cuarta parte como mucho de lo que pesa un vehículo de baterías eléctricas, que debe arrastrar media tonelada de baterías bajo el piso”. (p. 7).

2.4 Desventajas

- “Mayor peso que un coche convencional (hay que sumar el motor eléctrico y, sobre todo, las baterías), y por ello un incremento en la energía necesaria para desplazarlo.
- Más complejidad, lo que dificulta las revisiones y reparaciones del mismo.
- Por el momento, también el precio”. (Martinez, 2014, p. 7).

2.5 Configuración de los vehículos híbridos

“Los híbridos se pueden fabricar en diferentes configuraciones:

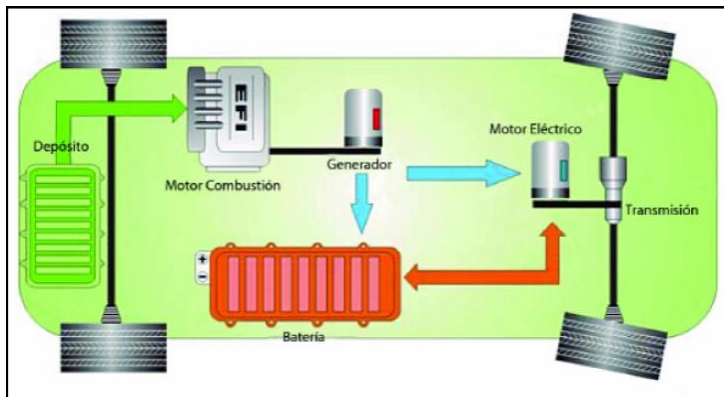
Paralelos: tanto la parte eléctrica como la térmica pueden hacer girar las ruedas.

Serie: solo la parte eléctrica da tracción, el motor térmico se utiliza para generar electricidad.

Mixtos: Esta configuración proporciona la posibilidad de propulsar al vehículo enteramente mediante el motor de combustión, enteramente mediante el motor eléctrico o mediante una combinación de ambos motores”. (Suntaxi & Haro, 2010, p. 34).

2.5.1 Configuración Serie

“En estos vehículos el motor de combustión proporciona movimiento a un generador que o carga las baterías o suministra la potencia directamente al sistema de propulsión (motor eléctrico) y por lo tanto reduce la demanda a la batería. El dispositivo generador se utiliza principalmente como un amplificador de prestaciones, por lo que en la mayoría de los kilómetros se circula con las baterías. Cuando la duración del viaje excede a las prestaciones de la batería, el dispositivo generador se enciende. Para viajes más largos, el dispositivo generador puede ser conectado automáticamente cuando las baterías alcanzan un nivel predeterminado de descarga. El motor térmico impulsa un generador eléctrico, normalmente un alterador trifásico, que recarga las baterías, una vez rectificadas la corriente, y alimenta al motor o motores eléctricos y estos son los que impulsan al vehículo”. (Suntaxi & Haro, 2010, p. 36).

Figura 6*Configuración en serie**Nota:* (Suntaxi & Haro, 2010)

Según (Suntaxi Suntaxi & Haro Delgado, 2010) “El sistema resulta eficiente si el 80% de los kilómetros recorridos son alimentados por la energía de las baterías que se han recargado desde la red. En caso contrario es difícil la justificación de este tipo de propulsión híbrida ya que la energía eléctrica de las baterías proviene en realidad de la combustión del motor térmico. La principal ventaja que ofrece este diseño frente al de en "paralelo" es la de un diseño mecánico simple. Se dispone de un motor térmico diseñado y optimizado para trabajar siempre en el mismo régimen de revoluciones”. (p. 36).

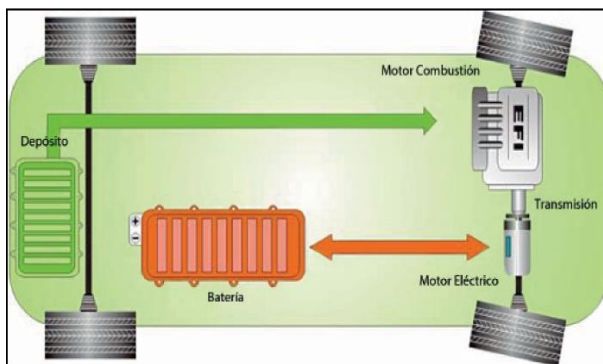
2.5.2 Configuración Paralelo

“Este tipo de vehículo 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, este método evita las pérdidas inherentes a la conversión de

energía mecánica en eléctrica que se da en los híbridos en serie. Además como los picos de demanda de potencia le corresponden al motor de combustión interna, las baterías pueden ser muchos menores. El motor a gasolina entra en funcionamiento cuando el vehículo necesita más energía. Y al detenerse, el híbrido aprovecha la energía normalmente empleada en frenar para recargar su propia batería (frenado regenerativo)". (Suntaxi & Haro, 2010, p. 37).

Figura 7

Configuración en paralelo



Nota: (Suntaxi & Haro, 2010)

Para (Suntaxi & Haro, 2010) "Dentro de los vehículos híbridos paralelos podemos distinguir dos arquitecturas: los que usan un generador independiente para cargar las baterías, o los que aprovechan el motor eléctrico para funcionar también como generador. Con generador independiente: su inconveniente es que tiene más componentes, el generador, el convertidor de corriente alterna a corriente continua y la transmisión ente el motor térmico y el generador por lo que será más pesado y caro. Sin embargo tiene la ventaja que el generador al estar diseñado para funcionar solo como generador, será más eficiente que el motor funcionando como generador. (p. 37).

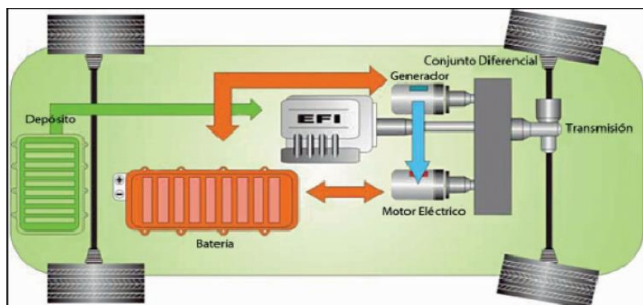
Usando el motor eléctrico como generador: se disminuye el número de componentes, pero puede disminuir el rendimiento”.

Las ventajas de la transmisión híbrida paralelo sobre la transmisión híbrida serie son las siguientes:

- Tanto el motor eléctrico como el de combustión suministran torque a las ruedas sin conversión de energía, por lo cual las pérdidas de energía pueden ser menores.
- Es compacto debido a que no hay necesidad de un generador adicional y el motor de tracción es más pequeño que en la configuración Serie.

2.5.3 Configuración Serie-Paralelo

“Este sistema combina las configuraciones serie y paralelo para aumentar al máximo los beneficios de ambos sistemas. Tiene dos motores, y dependiendo de las condiciones de manejo, usa solo el motor eléctrico o el poder de ambos para lograr el nivel de eficacia más alto. Además, si es necesario, el sistema maneja las ruedas mientras simultáneamente se usa el generador de electricidad”. (Suntaxi & Haro, 2010, p. 38).

Figura 8*Configuración serie-paralelo*

Nota: (Suntaxi & Haro, 2010)

2.5.4 Comparación de los Tipos de Configuraciones

Para (Suntaxi Suntaxi & Haro Delgado, 2010) “El vehículo híbrido paralelo con generador independiente también se le clasifica como vehículo híbrido "paralelo-serie". Esta configuración combina las ventajas de ambos sistemas y es la más utilizada por los fabricantes de automóviles”. (p. 39).

Tabla 4

Comparación de las configuraciones de vehículos híbridos.

* Excelente • Superior ◦ Algo desfavorable	Reducción de consumo de combustible				Performance de conducción	
	Idling stop	Recuperación de energía	Control de operación de alta eficiencia	Eficiencia total	Aceleración	Alta potencia continua
SERIE	•	*	•	•	◦	◦
PARALELO	•	•	◦	•	•	◦
SERIE-PARALELO	*	*	*	*	•	•

Nota: (Suntaxi V. , 2010)

Los tiempos de funcionamiento del motor eléctrico (motor) y del motor térmico (engine) se reparten en distinta proporción dependiendo de la configuración del vehículo híbrido, en el híbrido "serie" los tiempos de funcionamiento se reparten por igual al 50%, en el híbrido "paralelo" sin embargo funciona mucho más el motor térmico, en el híbrido "paralelo/serie" funciona más tiempo el motor eléctrico.

2.6 Componentes

Los vehículos híbridos disponen de varios componentes comunes independientemente de la arquitectura (híbrido en serie, paralelo o combinado). Estos componentes interactúan de tal manera que al trabajar de manera solidaria logran alcanzar la eficiencia deseada en estos vehículos.

2.6.1 Motor térmico

Según afirma (Herrero, 2012) "El motor tienen poca cilindrada respecto a un modelo equivalente de motor convencional y prima el par máximo sobre la potencia. El motor funciona con ciclo Atkinson, como el anterior Prius. Tiene un sistema de recirculación de gases que reduce la temperatura en el motor y hace innecesario enriquecer la mezcla para lograr esa refrigeración; también evita daños por sobrecalentamiento en el catalizador. El consumo medio es 3,9 l/100 km (89 gr/km de CO₂) en las versiones con menor equipamiento y 4,0 l/100 km en el resto. La diferencia se debe al mayor peso de estas últimas". (p.54).

Figura 9

Motor de combustión interna

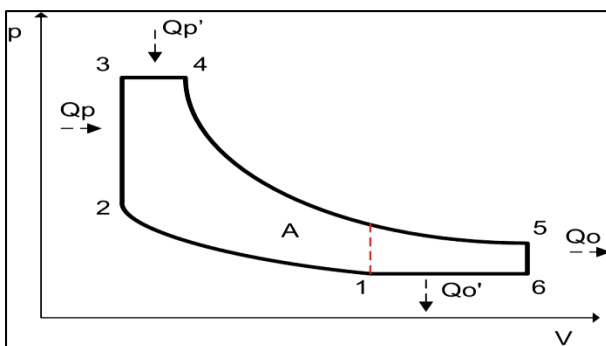


Nota: (Peña, 2011)

Según (Bahmachari, 2012) “El objetivo del ciclo es Permitir que la presión en la cámara de combustión al final de la carrera de potencia sea igual a presión atmosférica Así, se ha obtenido toda la energía disponible en el proceso de combustión. La mayor relación de expansión genera más energía la cual se convierte de calor a energía mecánica útil el motor es más eficiente”. (p. 54).

Figura 10

Diagrama ciclo atkinson.



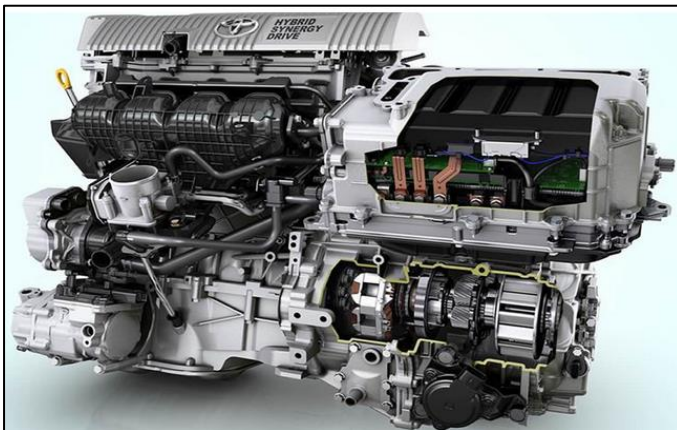
Nota: (Rusnák, 2006)

2.6.2 Moto-Generadores

En el sistema híbrido trabajan dos Moto-Generadores trifásicos con una máxima tensión de 500VCA, cada uno tiene diferentes funciones para lograr la eficiencia que se requiere en estos vehículos.

Figura 11

Moto generadores de los vehículos híbridos.



Nota: (Ojeda, 2018)

2.6.3 Motor Generador 1 (MG1)

“El generador es el elemento que transforma en electricidad el trabajo del motor térmico, sirve además para recargar la batería y proporcionar energía eléctrica adicional bajo aceleración fuerte. Funciona también como motor de arranque del motor de combustión. Es de corriente alterna síncrono y —como máximo— gira al doble de régimen que el motor térmico. Este motor no se despliega en el monitoreo del híbrido pero siempre está en operación”. (Suntaxi & Haro, 2010, p. 46).

Figura 12*Motor Generador 1 (MG1)*

Nota: (Barbadillo, 2011)

2.6.4 Motor Generador 2 (MG2)

“Es un motor síncrono de imanes permanentes de neodimio. Impulsa el auto por si solo en momentos cuando es más eficiente (largada, aceleración suave y frenado) Igual sirve como complemento del motor de combustión. 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. Dado el desarrollo de transmisión que tiene el coche y su velocidad máxima (170 km/h), el régimen máximo del motor eléctrico es unas 6.150 rpm”. (Martínez, 2014)

Figura 13*Motor generador 1 (MG1)**Nota: (s.a, 2009)*

2.6.5 Funcionamiento de los MG

El motogenerador debe ser capaz de generar energía eléctrica de una manera que se ajuste rápidamente con las condiciones de funcionamiento del vehículo en el instante que se lo necesite y esto debe hacerlo de tal manera que su eficiencia sea elevada. Los generadores son dispositivos que transforman en electricidad el trabajo del motor de combustión interna y también pueden funcionar como motor de arranque para el motor térmico. Los motogeneradores son de corriente alterna trifásica. En el sistema de motogenerador de los vehículos híbridos Toyota Prius se encuentran dos motores generadores trifásicos que trabajan en alta tensión, aproximadamente 500 VCA, cada uno de estos cumple con una función específica y son denominados como MG1 y MG2. La corriente alterna es lograda a través del inversor, en el caso del modelo Toyota Prius, el motogenerador 1 (MG1) es la encargada de generar carga que se distribuye entre la batería y el motogenerador 2 (MG2). El motogenerador 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), la unidad de control electrónica de todo el sistema híbrido controla el funcionamiento de cualquier condición en la se encuentre el vehículo. (Espinoza & Villacis, 2019, pág. 33)

Los motores generadores en conjunto forman el grupo motor, el que es de manera simplificada también la caja de cambios, esto ayuda a aligerar el vehículo de tal manera que su eficiencia mejora.

Figura 14

MG1 Y MG2 acoplados.



Nota: (Alvarez, 2019)

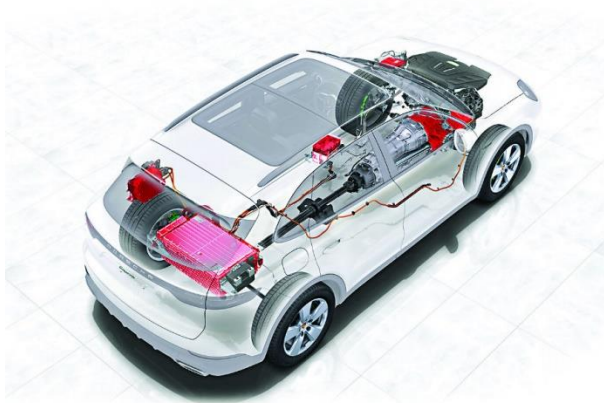
2.6.6 Baterías de alto voltaje

“La gran mayoría de marcas tienen sus propios sistemas de baterías híbridas, existiendo una gran particularidad en sus características de funcionamiento especialmente en los componentes que conforman el sistema como son grupos de celdas bajo un orden de conexión

específico, control de temperatura, control de activación de componentes de alta tensión. Algunas baterías HV están formadas por un paquete de Módulos que consiste de 28 módulos de baterías de Ni-MH de bajo voltaje (7.2 voltios) conectados en serie para producir aproximadamente 201.6 voltios. Cada módulo de baterías de Ni-MH tiene diseño anti derrames y está en una caja hermética. El electrolito que se usa en el módulo de baterías de Ni-MH es una mezcla alcalina de potasio e hidróxido de sodio. El electrolito se absorbe en las placas de las celdas de la batería y normalmente no tendrá fugas, incluso en caso de una colisión”. (Augeri & López, 2013, p. 5).

Figura 15

Batería de alto voltaje.

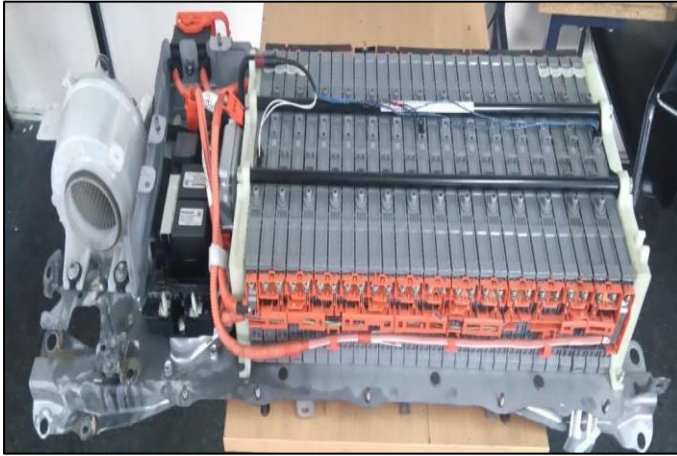


Nota: (Robles, 2019)

“Cuando la batería de un vehículo híbrido está muy próxima al final de su vida útil, se enciende un indicador en el cuadro de mandos que advierte al conductor y el vehículo limita su potencia entrando en “modo avería”. Esto suele suceder en un periodo que oscila entre los 7 y 10 años, entre los 240.000 y 480.000 kilómetros, dependiendo del uso y el mantenimiento que se haya dado”. (Augeri & López, 2013, p. 46)

Figura 16

Batería de alto voltaje.



Nota: (Rebelo, 2018)

a. Tipos de baterías de alta tensión

“Existen varios tipos de baterías dependiendo de la necesidad del fabricante de vehículos híbridos y eléctricos, ya que se requiere baterías con distintos números de celdas, distinta composición, diversos voltajes nominales y por ende baterías que entreguen distintas capacidades, como se muestra en la siguiente tabla”. (Moyano & Pantoja, 2019, p. 50).

Tabla 5

Tipos de baterías de alta tensión

Marca	Modelo	Voltaje moninal	Número de celdas	Voltaje por celda	Composición	Capacidad
BMW	i3	360 V	96	3.75 V		22 kW/h
BMW	i8	355 V	96	3.7 V		7.1 kW/h
Honda	Accord	144 V	20	7.2 V	NiMH	5,5 A/h
Honda	Civic	158.4 V	22	7.2 V	NiMH	5,5 A/h
Hyundai	Loniq	360 V	94	3.3 V	LiNiMnCo2	28 kW/h
Kía	Optima	360 V	96	3.75 V	Lithium Ion	9.8 kW/h
Kía	Soul ev	360 V	192	4.1 V	Lithium Ion	27 kW/h
Lexus	GS 450h	288 V	40	7.2 V	NiMH	6.5 A/h
Lexus	IS 300h	230.4 V	32	7.2 V	NiMH	6.5 A/h
Lexus	RX400h	216 V	30	7.2 V	NiMH	6.5 A/h
Mercedes Benz	S550 PLUG-IN HYBRID	396 V	120	3.3 V	Lithium Ion	22 A/h
Nissan	Altima	270.6 V	34	7.96 V	NiMH	6.5 A/h
Renault	Fluence	360 V	192	3.75 V	Lithium Ion	35.5 A/h
Renault	Zoe	400 V	192	4.1 V	Lithium Ion	22 kW/h
Tesia	S60	310 V	22	14 V	Lithium Ion	60 kW/h
Toyota	Auris	201.6 V	28	7.2 V	NiMH	6.5 A/h

Nota: (Moyano & Pantoja, 2019)

b. Impacto ambiental de las baterías de los vehículos híbridos

Aunque los vehículos híbridos consumen menos combustible que los autos convencionales, aún existe un problema en relación con el daño ambiental de la batería de este tipo de vehículos. Hoy en día la mayoría de las baterías de los vehículos híbridos son uno de los dos tipos:

- Hidruro metálico de níquel.
- Batería de ion y litio.

Ambos son considerados como más ecológicos que las baterías de plomo y ácido, las que constituyen el mayor contaminante de las baterías de arranque de vehículos a gasolina en la actualidad.

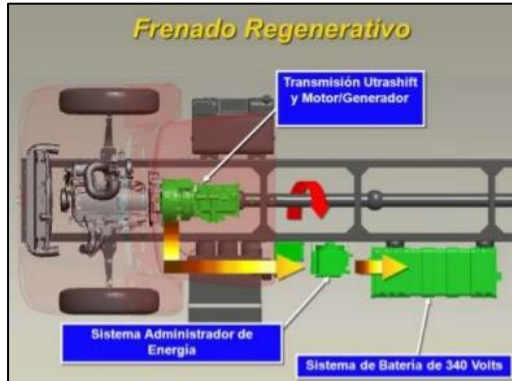
2.6.7 Inversor

Según (Augeri, 2015, p. 56) "Este componente es parte fundamental del vehículo híbrido. Incorpora una gran cantidad de 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 del mismo incluidos los DTC.

Figura 17*Inversor**Nota: (Augeri, 2015)*

2.6.8 Freno regenerativo

El frenado regenerativo captura la energía que normalmente se pierde durante el frenado o durante el movimiento en punto muerto. Utiliza el movimiento delante de los neumáticos para mover el motor. Esto genera electricidad y ayuda a detener el vehículo. La energía generada por el frenado regenerativo se utiliza para recargar la batería de alta tensión si esto fuera necesario.

Figura 18*Freno regenerativo**Nota:* (Taco, 2016)

2.6.9 Sistema de Enfriamiento Inversor y Moto generadores

Según (Acosta, 2013, p. 243) menciona que: "El inversor al igual que los moto generadores está provisto de ductos internos de enfriamiento por agua y refrigerante aparte de las termocuplas de tipo NTC que monitorean el aumento de temperatura en estos elementos que al momento de su operación generan calor por la variación de frecuencia y circulación de altas corrientes. Las termocuplas son del orden de los 5k y están conectadas en serie a una resistencia de valor fijo formando un divisor de tensión que facilita el monitoreo de las temperaturas por medio de la ECU híbrida.

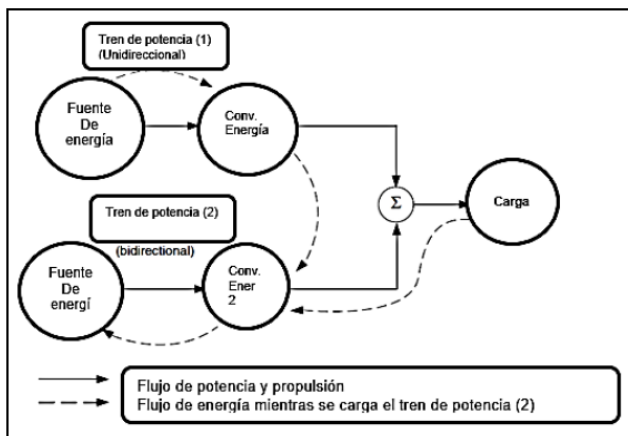
2.7 Tren de transmisión híbrido

El sistema de transmisión del vehículo híbrido es el encargado de transmitir la potencia generada por los motores eléctricos (MG1-MG2) o en conjunto con el motor térmico a las ruedas motrices.

Basando en (Mehrdad, 2012, p. 22) “El tren de impulsión generalmente tiene una fuente de energía bidireccional que puede ser de fuente de combustibles fósiles como gasolina o diésel y una fuente generalmente de energía eléctrica provista por una batería o un motor generador, este tren cuenta con un convertidor el cual es el encargado de gestionar el flujo de energía.

Figura 19

Tren de potencia



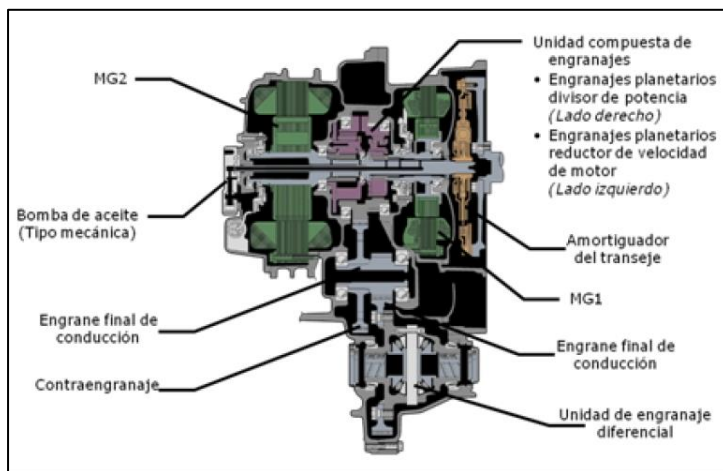
Nota: (Mehrdad, 2012)

2.7.1 Transeje híbrido

“En un sistema híbrido para que llegue a funcionar correctamente necesita primero 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 o trenes epicicloidales los que nos permite unir la potencia de cada uno de los motores”. (Suntaxi & Haro, 2010, p. 57).

Figura 20

Transeje básico



Nota: (Suntaxi & Haro, 2010)

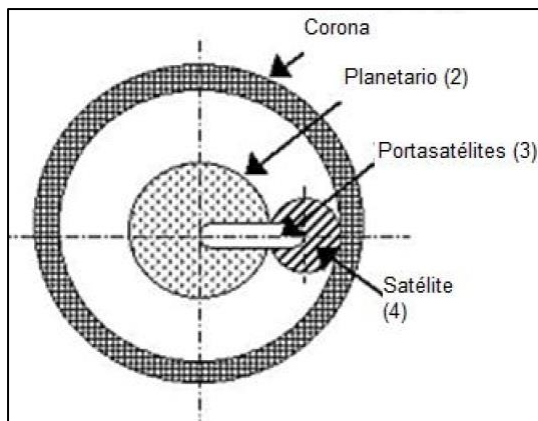
“Los trenes epicicloidales son aquellos trenes de engranajes en los cuales alguna rueda gira en torno a un eje que no es fijo, sino que gira en el espacio. Al portasatelites (3) que gira se le llama porta satélites. A la rueda (4) que gira alrededor de dicho eje se la denomina satélite. El sistema, de esta manera, tiene dos grados de libertad que se restringen a uno haciendo girar al satélite alrededor de una rueda fija o central (2) llamada planetario. En el caso de los trenes

epicicloidales, también cabe hablar de trenes recurrentes o no recurrentes, según que los ejes de entrada y salida sean o no coaxiales”. (Suntaxi & Haro, 2010, p. 59).

A continuación, se presenta en la Figura 21, los elementos de un engranaje planetario o tren epicicloidal.

Figura 21

Engranaje planetario



Nota: (Suntaxi & Haro, 2010)

“Este mecanismo ofrece tres movimientos de giro concéntrico. Sin embargo en una caja de velocidades los ejes de entrada y salida son únicos, por lo que uno de los tres giros parece redundante, de hecho las tres relaciones de marcha se obtendrán eliminando ese giro redundante de diferentes maneras mediante frenos y embragues. Se observa que detener el porta satélites supone una inversión de giro, efecto que se puede aprovechar en la marcha atrás. Por otra parte, para conseguir una reducción unidad o transmisión directa basta impedir el movimiento relativo de todos los elementos y comunicar el giro al piñón planetario, ya que así el conjunto gira solidariamente”. (Suntaxi & Haro, 2010, p. 59).

2.7.2 Relación de transmisión en el tren epicicloidal o engranaje planetario

En el conjunto de engranajes planetario podemos tener diferentes entradas y salidas de la potencia, es decir tomando como referencia el engranaje central o comúnmente llamado sol, este puede trabajar como la entrada de potencia y en un diferente modo de operación como salida de potencia. Por lo tanto en el tren epicicloidal podemos tener diferentes relaciones de transmisión según el modo de operación del tren epicicloidal.

Tabla 6

Variantes de desmultiplicación en el engranaje planetario.

Entrada	Salida	Fijo	Desmultipl.	Observación
A	C	B	$i = 1 + Z_B / Z_A$	$2,5 \leq i \leq 5$
B	C	A	$i = 1 + Z_A / Z_B$	$1,25 \leq i \leq 1,67$
C	A	B	$i = \frac{1}{1 + Z_B / Z_A}$	$0,2 \leq i \leq 0,4$ marcha rápida
C	B	A	$i = \frac{1}{1 + Z_A / Z_B}$	$0,6 \leq i \leq 0,8$ marcha rápida
A	B	C	$i = 1 + Z_B / Z_A$	Cambio estacionario con inversión de sentido de giro – $0,4 \leq i \leq 1,5$
B	A	C	$i = 1 + Z_A / Z_B$	Cambio estacionario con inversión de sentido de giro – $0,25 \leq i \leq 0,67$

Nota: (Acosta, 2013)

2.8 Modos de funcionamiento del sistema transeje

2.8.1 “Motor parado e ignición colocada

(Augeri, 2010) “En este momento solo se encuentra colocada la ignición o bien puede estar el motor prendido con la batería cargada, en cuyo caso en el tablero aparecerá la palabra READY indicándonos que el auto está listo para ser usado, las rpm de MG1 y MG2 serán cero porque no tengo movimiento para ver RPM en MG2 ni necesito cargar la batería para ver movimiento en MG1”.

2.8.2 Motor parado con motor a gasolina

En esta condición el motor está en parking, se encuentra encendido, pero se detectó que la batería estaba un poco baja y que requiere carga, entonces MG1 tendrá rpm positivas (entre 7000 y 9000 RPM) para poder encender al motor de gasolina y que este ahora convierta al motor MG1 en generador para cargar la batería, en esta condición como no hay movimiento de las ruedas, MG2 se encuentra quieto con cero RPM.

Figura 22

Motor térmico en recarga de batería



2.8.3 Rodando con motor eléctrico

Cuando el auto comienza a rodar y encuentra una buena carga de batería y que además no hay una exigencia alta en la aceleración, puede ser movido únicamente por MG2, entonces tendremos rpm positivos en MG2 que nos indica que el auto está en movimiento por acción de este, en tanto que MG1 presentara rpm negativos ya que debe rodar en sentido contrario para que no haga encender el motor térmico.

Figura 23

Movimiento del vehículo puramente eléctrico (MG2)



2.8.4 Rodando de manera mixta (2 motores)

“En este caso, el conductor hace una exigencia mayor de aceleración, por ejemplo para rebasar, al detectar esto en el sistema veremos que MG2 ya venía con rpm positivas para mover al auto, pero adicional ahora se debe conectar MG1 con rpm positivas también para poder encender el motor de gasolina y que este a su vez aporte al movimiento y cumpla con el requerimiento de potencia, una vez encendido el motor térmico queda aportando al movimiento junto con MG2 y MG1 vuelve a tomar valor negativo de rpm si es que no requiere carga la batería o valores positivos para aportar con carga a MG2 y si le sobra energía cargar la batería”. (Augeri & López, 2013, pág. 36)

Figura 24

Movimiento del vehículo por parte del motor térmico, MG2 y recarga de batería



2.8.5 Cargando la batería

(Denton, 2016) "En esta condición, se requiere que se encienda el motor térmico para que convierta la acción del motor en generador, entonces MG2 seguirá con rpm positivas por la acción del movimiento y MG1 tomara ahora un valor también positivo para poder encender el motor térmico y comenzar la generación".

Figura 25

Motor de combustión se enciende para recargar la batería



2.8.6 En freno regenerativo

En la acción de frenado regenerativo no requiero que el motor térmico este prendido pues para cargar la batería pues utilizo el movimiento del mismo auto, por lo tanto, el motor MG1 estará con valor de rpm negativo para no encender al motor térmico y MG2 con un valor de rpm positivo del movimiento que esta vez servirá de carga a la batería, así como de freno eléctrico.

Figura 26

Recarga de baterías mediante freno regenerativo



2.8.7 Rodando en retro

(Denton, 2016) Esta es en la única condición en la que el motor MG2 adquiere un valor de RPM negativo ya que el sentido de giro del auto es contrario, por el contrario, MG1 toma ahora un valor positivo sin que este cargando la batería ni que este queriendo encender al motor térmico, su valor de rpm es solo por el movimiento mecánico". (p. 12).

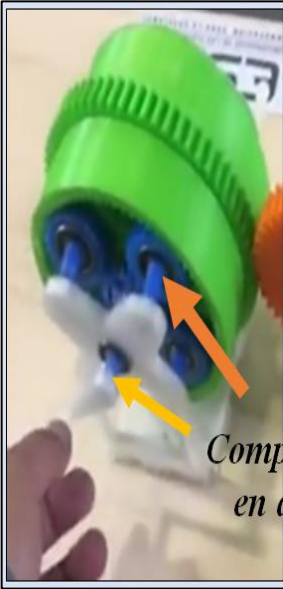
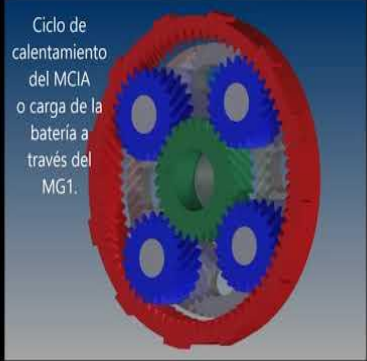
Figura 27


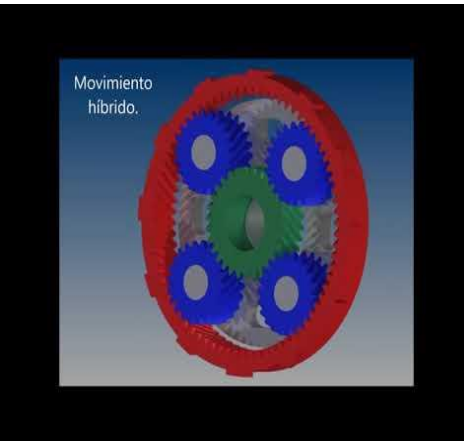
Movimiento de retroceso puramente eléctrico


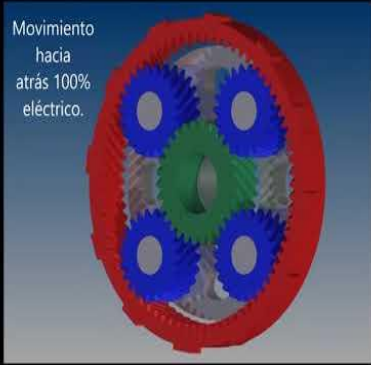


Tabla 7

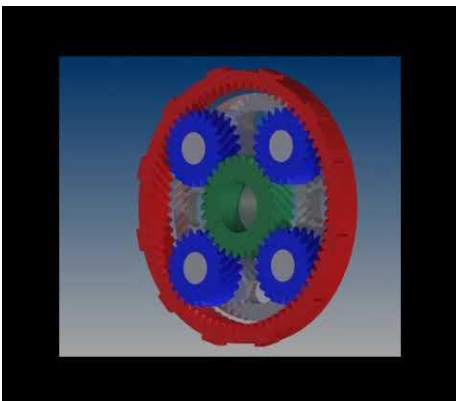
Modos de funcionamiento de Transeje híbrido


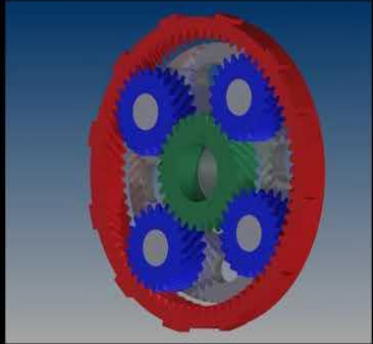
MODOS DE FUNCIONAMIENTO BASADO EN LA MAQUETA PLÁSTICA	OPERACIÓN DEL SISTEMA	COMPONENTES EN ACCIÓN	IMAGEN	VIDEO
<p>Ciclo de calentamiento del MCI o carga de la batería a través del MG1</p>	<p>En este ciclo, para generar el calentamiento del MCI, entra en activación el MG1 Y con ello actúa en los engranes planetarios el cual el porta planetarios está conectado al MCI, se considera que en ese instante el MG2 está</p>	<ul style="list-style-type: none"> • MG1 • MCI 	 <p><i>Componentes en acción</i></p>	 <p>Ciclo de calentamiento del MCI o carga de la batería a través del MG1.</p>


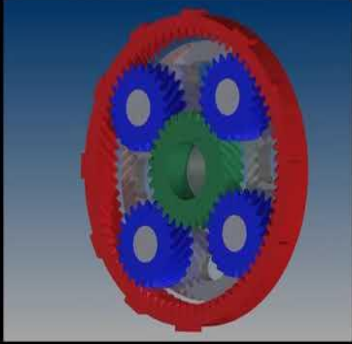
MODOS DE FUNCIONAMIENTO BASADO EN LA MAQUETA PLÁSTICA	OPERACIÓN DEL SISTEMA	COMPONENTES EN ACCIÓN	IMAGEN	VIDEO
Movimiento Híbrido	<p>El movimiento Híbrido es generado por los tres componentes que contiene el motor es decir la combinación de MCI y los MG.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • MCI • MG1 • MG2 		

MODOS DE FUNCIONAMIENTO BASADO EN LA MAQUETA PLÁSTICA	OPERACIÓN DEL SISTEMA	COMPONENTES EN ACCIÓN	IMAGEN	VIDEO
Movimiento hacia atrás 100% eléctrico	<p>Para ejecutar la movimiento de reversa en base eléctrica el MG1 Y EL MG2 entra en funcionamiento en sentido antihorario, considerando que el MCI se encuentra</p>	<ul style="list-style-type: none"> • MG1 • MG2 		

MODOS DE FUNCIONAMIENTO BASADO EN LA MAQUETA PLÁSTICA	OPERACIÓN DEL SISTEMA	COMPONEN TES EN ACCIÓN	IMAGEN	VIDEO
Arranque del motor de Combustión Interna	Giro del planetario (MG1), quien actúa como un arranque para que el MCI entre en funcionamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • MG1 • MCI 	 <p><i>Componentes en acción</i></p>	 <p>Giro del planeta (MG1) a cámara lenta...</p>

MODOS DE FUNCIONAMIENTO BASADO EN LA MAQUETA PLÁSTICA	OPERACIÓN DEL SISTEMA	COMPONENTES EN ACCIÓN	IMAGEN	VIDEO
<p>Régimen de giro constante del motor de combustión interna MCI independientemente del Vehículo.</p>	<p>El MG1 debe variar su régimen y sentido de giro para mantener constante las revoluciones</p>	<ul style="list-style-type: none"> • MG1 • MG2 • MCI 		

MODOS DE FUNCIONAMIENTO BASADO EN LA MAQUETA PLÁSTICA	OPERACIÓN DEL SISTEMA	COMPONENTES EN ACCIÓN	IMAGEN	VIDEO
Retención del MCI	El MG1 debe reducir su régimen de giro, obligando a girar al MCI.	<ul style="list-style-type: none">• MG1• MG2• MCI	 <p data-bbox="1268 748 1444 813"><i>Componentes en acción</i></p>	

MODOS DE FUNCIONAMIENTO BASADO EN LA MAQUETA PLÁSTICA	OPERACIÓN DEL SISTEMA	COMPONENTES EN ACCIÓN	IMAGEN	VIDEO
<p>Funcionamiento en modo eléctrico a altas velocidades.</p>	<p>El régimen máximo de giro del MG1 es de 6500 rpm, por lo que a partir de 67,7km/h el MCI debe girar si quemar combustión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • MG1 • MG2 • MCI 	 <p><i>Componentes en acción</i></p>	

Nota: (Erazo, 2018)

2.9 Fórmulas para el cálculo de engranajes

En la tabla se muestran las expresiones para determinar los diferentes parámetros geométricos sin corrección del dentado. Hay una observación importante que hacer, el diámetro de fondo de la rueda interior es mayor que el diámetro exterior de dicha rueda, y el diámetro básico puede quedar fuera de la rueda.

Tabla 8

Tabla de fórmulas para el diseño de engranajes

Número	Parámetro	Símbolo	Fórmula
1	Módulo	m	D/Z
2	Angulo de herramienta	α	
3	Número de dientes	Z_1 y Z_2	
4	Distancia entre centros engranajes exteriores	y	$\frac{m(Z_1 + Z_2)}{2}$
5	Diámetro de paso	Dp	m.z
6	Paso circular	P_c	$\pi D/Z$
7	Paso diametral	Pd	Z/D
8	Addendum	a	a=m
9	Dedendum	b	1.25.m
10	Espaciamiento	c	b-a
11	Diámetro exterior	De	Dp-2a
12	Diámetro de interior	Di	Dp-2b
13	Profundidad total	ht	a+b
14	Profundidad de trabajo	hk	2a
15	Espesor de diente	e	p/2
16	Distancia entre centros engranajes interiores	y l	$\frac{m(Z_1 + Z_2)}{2}$
17	Altura del diente.	h	a+b

Nota: (Pozo Guzmán Rubén Dario, 2013)

2.10 Software SolidWorks

“SOLIDWORKS es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software que ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño”. (s.a)

Figura 28

Software SolidWorks



Nota: (s.a)

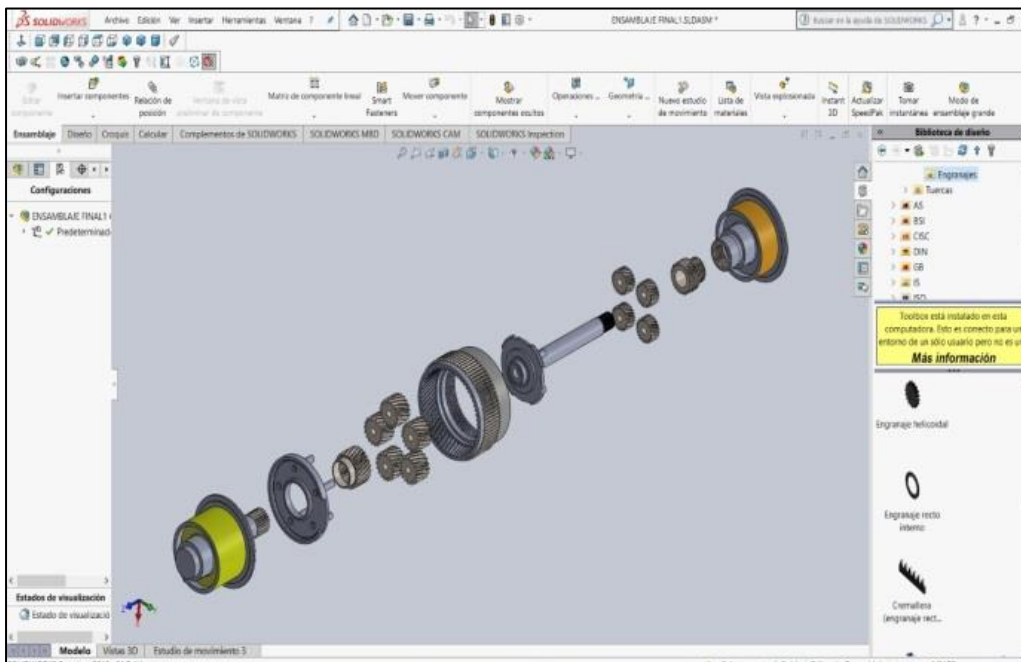
2.10.1 SolidWorks Simulation

“El software de cálculo y validación SOLIDWORKS Simulation, somete los diseños a condiciones idénticas que experimentaría en la realidad, aumentando la calidad de los productos al tiempo que reduce el coste de sus prototipos. Sus funcionalidades principales son las siguientes:

- Genera menor número de prototipos gracias a la posibilidad de configurar y probar los productos simulando un entorno real antes de fabricarlos. De esta forma se evitan errores costosos y el producto llega antes al mercado.
- Evalúa el rendimiento de los productos para mejorar la eficacia de éstos desde las primeras fases de diseño y controlar su ciclo de vida. Se perfeccionan los diseños gracias al análisis de simulación y se adapta el producto según los resultados obtenidos.
- Las pruebas virtuales en las fases iniciales del desarrollo de producto integradas en CAD ayudan a comercializar los productos más rápido utilizando menor número de prototipos físicos los cuales suponen una pérdida de tiempo”. (s.a)

Figura 29

SolidWorks Simulation



CAPÍTULO III

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA TRANSEJE DEL VEHÍCULO HÍBRIDO TOYOTA LEXUS RL450H E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DIDACTICO

En este capítulo se realizó la descripción de cada uno de los elementos que conforman el sistema transeje, el funcionamiento que cumple cada uno de ellos en las diferentes etapas de operación, el modelado de los engranajes en un software especializado y la elaboración de una maqueta didáctica para un mejor entendimiento de los modos de operación.

El mecanismo transeje del sistema híbrido en el vehículo Toyota Lexus RX450h es considerado el cerebro del funcionamiento entre los motores generadores y el motor de combustión interna, ya que es el encargado de acoplar y desacoplar el movimiento generado por los tres motores que intervienen en el correcto funcionamiento de este tipo de vehículos híbridos, según cada modo de operación lo requiera. El mecanismo trans-eje está gobernado por dos conjuntos de engranajes planetarios, que se alinean en un solo eje vertical, en un extremo uno de los engranajes planetarios trabaja con MG1 transformándose en motor de arranque y otras en generador, este conjunto también se une mediante un eje con el cigüeñal del motor de combustión interna (MCI), el que aporta el movimiento necesario para impulsar el MG1 y así generar energía para recargar la batería híbrida o también aporta energía si el vehículo requiere más torque y velocidad según los requerimientos del conductor. En el otro extremo trabaja otro conjunto de engranajes planetarios con MG2 el cual transmite directamente movimiento a las ruedas.

Figura 30

Mecanismo Transeje con las bases y bobinados de MG1 y MG2





3.1 Proceso de desmontaje del mecanismo Transeje en el grupo motor Toyota Lexus.

El sistema Transeje, es el encargado de acoplar y desacoplar el movimiento del motor de combustión interna (MCI), el motor generador uno (MG1) y el motor generador dos (MG2) para mejorar el rendimiento del vehículo y minimizar el consumo de combustibles fósiles.

Tabla 9

Proceso de desmontaje del mecanismo transeje del grupo motor Toyota Lexus.

Proceso de desmontaje del mecanismo transeje en el grupo motor Toyota Lexus	
Verificación del estado físico externo del grupo motor.	
Procedimiento	Ilustración
<ul style="list-style-type: none"> • Inspección estructural de la coraza. • Inspección de fugas de refrigerante. • Inspección de fugas de aceite. • Inspección de los conectores de los sensores, del cableado, protectores plásticos y del mecanismo eléctrico de parqueo. 	 <p><i>Tapas de conductos de refrigerante</i></p>  <p><i>Mecanismo de parqueo</i></p>

Proceso de desmontaje del mecanismo transeje en el grupo motor Toyota Lexus

Drenaje de lubricante y refrigerante

Procedimiento

- Verificar la ubicación de los tapones de drenaje de lubricante y refrigerante.
- Realizar el drenaje de fluidos.
- Si existe huellas de fugas de fluidos por las tapas de verificación, desmontarlas y corregir fugas.

Ilustración



Desmontaje de tapas de fluidos

Desmontaje de tapas del MG1 y MG2

Procedimiento

- Se extrae los pernos de sujeción de la tapa del MG1, la cual se encuentra en la posición del eje que acopla al motor de combustión interna. Se despega la tapa de su asiento con un extractor de golpe ya que estos elementos

Ilustración

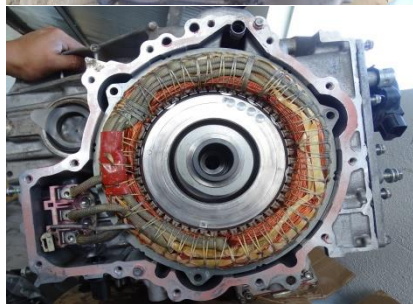


Proceso de desmontaje del mecanismo transeje en el grupo motor Toyota Lexus

están colocados con silicón que sirve como sellador.

- Desmontamos la tapa del MG2, extraemos los pernos y utilizamos un extractor de golpe ya que las dos tapas poseen muescas para utilizar esta herramienta.

Tapa de lateral de MG1



Desmontaje de tapa de MG2

Desmontaje de imanes y bobinados MG1, MG2

Procedimiento

- Se debe extraer los pernos de sujeción de los bobinados y desconectar el cableado trifásico del mismo, así como también los sockets de sensores y medidores de voltaje.
- Verificamos que todas las conexiones eléctricas estén desconectadas y procedemos a la extracción de los bobinados con los imanes y las bases de los mismos.
- Al desmontar los bobinados, podemos observar las rodajas de aislamiento, en las

Ilustración



Proceso de desmontaje del mecanismo transeje en el grupo motor Toyota Lexus

cuales se produce el daño más común en la parte interna del MG el cual es el desprendimiento de la rodela, provocando daños al bobinado.



Bobinados MG1-MG2

Separación de la coraza del Grupo Motor

Procedimiento

- Extraemos los pernos de sujeción de toda la coraza, colocamos el Grupo motor generador, con el extremo donde se ubicaba el MG1 hacia arriba. Con esto logramos que los elementos internos no se caigan o pierdan su posición cuando se realice la separación de la coraza. Aquí ya podemos visualizar el conjunto de satélites, la corona y el solar que trabajan con el MG1, acompañados con el conjunto de engranajes que conforman el diferencial que transmite el movimiento a las ruedas del vehículo.



Separación de la coraza

Desmontaje del sistema Transeje

Procedimiento

Ilustración

Proceso de desmontaje del mecanismo transeje en el grupo motor Toyota Lexus

- En esta instancia podemos desmontar fácilmente el conjunto de satélites y el solar del MG1, con esto podemos observar el eje de la base del imán del MG2 el cual tiene ubicado en la punta una arandela de seguridad la cual evita el desmontaje del mismo ya que la base de los satélites del MG2 esta fija en la coraza.
- Con el sistema transeje desmontado se puede realizar el estudio de operación de este mecanismo.



Sistema transeje

3.2 Reconocimiento de los componentes que interviene en el funcionamiento del sistema Transeje.

3.2.1 Sistema de engranajes planetario

Este conjunto de engranajes cumple con la función de transmitir movimiento, el cual puede originarse del MG1, MG2 y del MCI. En el mecanismo transeje del vehículo híbrido Toyota Lexus tenemos dos conjuntos planetarios. Uno trabaja con el MG2 manteniendo la base de los satélites fija, forzando a que el movimiento se transmita directamente del solar a la corona y el segundo conjunto de engranajes planetarios trabaja con el MG1 en el que la base de los satélites es móvil conectándose directamente al eje que se acopla al MCI.

Figura 31

Conjuntos planetarios MG1, MG2

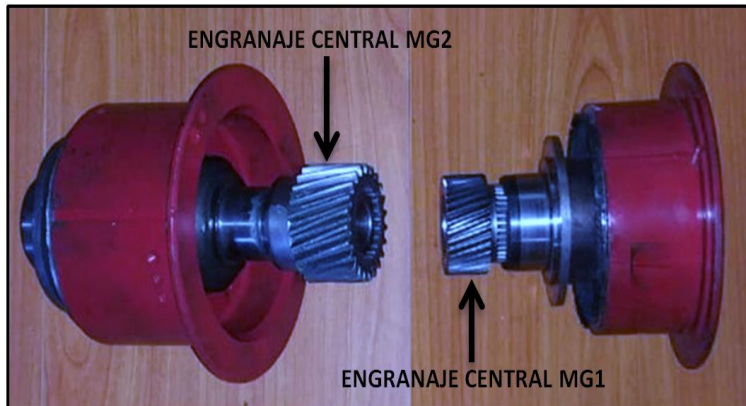


3.2.2 Engranaje central (Solar), MG1, MG2.

El engranaje central es el encargado de transmitir el movimiento generado por los MG. El movimiento generado por MG1, es transmitido mediante el engranaje central como un impulso a los satelites, los cuales estan conectados directamente al motor de combustion interna, provocando el encendido del mismo. El movimiento generado por MG2, es transmitido por el solar a los satelites y de estos a la corona, la que transmite directamente el movimiento al diferencial y por ultimo a las ruedas del vehiculo.

Figura 32

Engranajes centrales de MG1, MG2



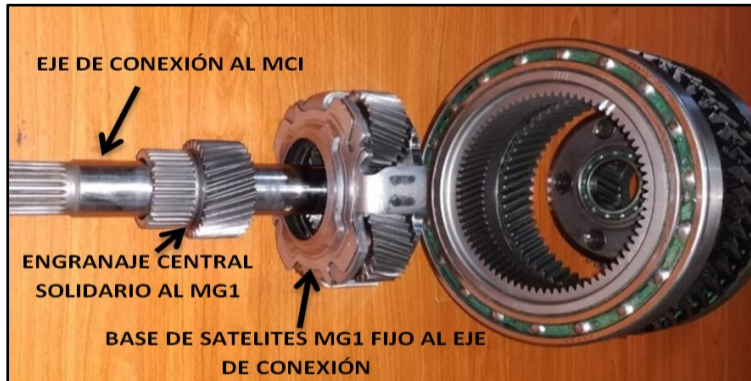
3.2.3 Conjunto de engranajes satélites MG1.

La base de este conjunto de satélites es móvil y se mueve solidario con el motor de combustión interna ya que se conectan por medio de un eje. Al estar el motor de combustión interna estático, la base de los satélites permanece igual, por lo que los satélites ya no realizan el movimiento de traslación moviéndose únicamente de forma rotacional.

Al estar la base estática los satélites se encargan de transmitir el movimiento de la corona al engranaje central el cual se conecta directamente con el MG1 y al estar la base móvil esto quiere decir que el MCI se encuentra encendido y ahora se transmite movimiento del motor MCI al MG1 o también aporta con torque para el movimiento del vehículo o con la absorción del movimiento para el frenado.

Figura 33

Conjuntos de satélites, solar y corona MG1-MCI

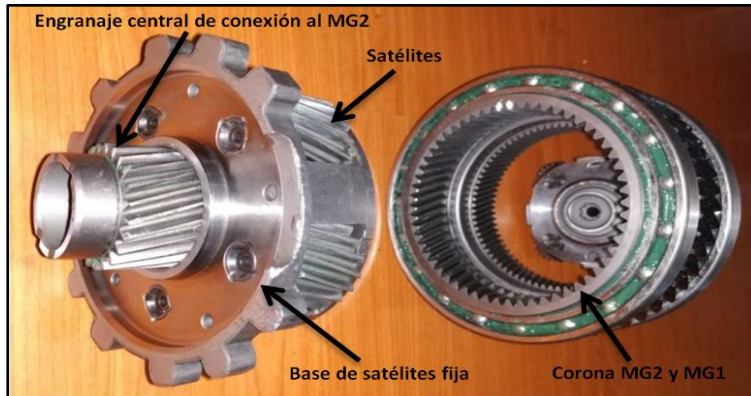


3.2.4 Conjunto de engranajes satélites MG2.

Este conjunto recibe movimiento únicamente del MG2, manteniendo la base de los satélites fija por medio de varias muescas redondeadas que se incrustan en la carcasa evitando el movimiento, esto hace que el movimiento transmitido por medio del solar a los satélites genere directamente movimiento a la corona, la que transmite el movimiento a las ruedas por medio del diferencial.

Figura 34

Conjuntos de satélites, solar y corona MG2



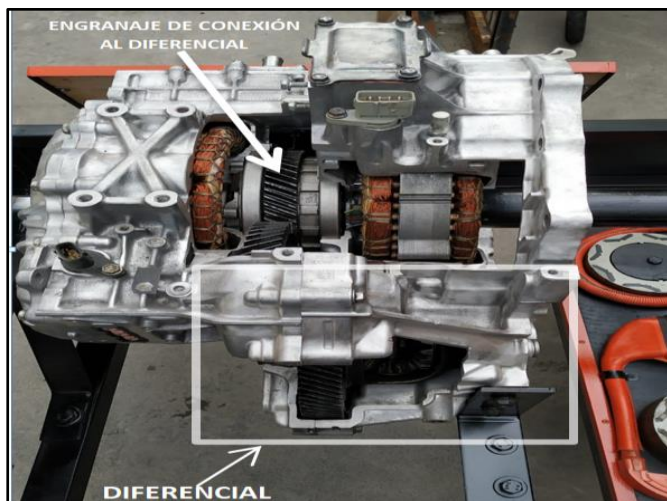
3.2.5 Corona de los conjuntos planetarios MG1, MG2.

La corona es la encargada de transmitir movimiento del MG2 a las ruedas o viseversa logrando generar energía por el freno regeneraivo. La corona de MG1 y MG2 estan unidas en un mismo cuerpo, es decir se mueven a la par.

En la parte externa de la corona, se situa un engranaje helicoidal, el que transmite el movimiento del MG2 al diferencial el mismo que conecta a las ruedas motrices.

Figura 35

Engranaje helicoidal de transmisión al diferencial



En la parte externa de la corona que trabaja con el MG1, se encuentran diseñadas unas muescas las cuales en conjunto con un mecanismo de activación eléctrica, cumplen la función de bloqueo de giro de las coronas (este mecanismo de bloqueo de giro se da en la posición P “Parking”).

Figura 36

Corona del engranaje planetario MG1-MG2



Al estar bloqueado el giro de las coronas, el movimiento de MG2 se anula, pero el movimiento de MG1 y MCI se puede dar bajo los requerimientos de operación del vehículo, esto se puede dar ya que la base de los satelites que trabajan con MG1, no se encuentra bloqueada para el giro.

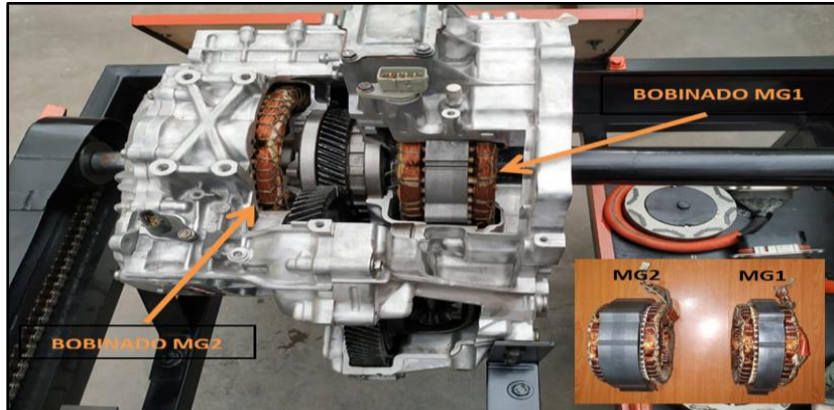
Figura 37

Coronas MG1, MG2



3.2.6 Bobinados de MG1, MG2.

Estos son los elementos fundamentales del sistema, ya que de ellos depende generar la energía para lograr el movimiento del vehículo. El bobinado de MG2 es de mayor dimensión y es el encargado de generar el movimiento a las ruedas del vehículo o a su vez generar energía para abastecer las baterías. El bobinado de MG1 es el encargado del arranque del MCI y de abastecer de energía a la batería de alta tensión.

Figura 38*Bobinados MG1, MG2*

3.3 Modelado en medidas reales de los elementos que conforman el sistema transeje del grupo motor del vehículo híbrido Toyota Lexus.

3.3.1 Cálculos para el modelado del engranaje Central (solar) MG1

Datos:

Diámetro Exterior

$$D_e = 46.6$$

Ángulo de hélice tomado mediante la impresión de los dientes del engranaje real

$$\alpha_e = 46.6$$

Número de dientes del engranaje real

$$N = 30$$

Modulo aparente

$$M_a = \frac{D_e}{\frac{N}{\cos \alpha_e} + 2}$$

$$M_a = \frac{46,6}{\frac{30}{6,21} + 2}$$

$$M_a = \frac{46,6}{\frac{30}{0,938} + 2}$$

$$M_a = \frac{46,6}{32,134 + 2}$$

$$M_a = \frac{46,6}{34,134}$$

$$M_a = 1,365$$

Angulo de hélice

$$\tan \alpha = \frac{\tan \alpha_e (D_e - 2M_a)}{D_e}$$

$$\tan \alpha = \frac{\tan 21 (46,6 - 2(1,365))}{46,6}$$

$$\tan \alpha = \frac{\tan 21 (46,6 - 2,73)}{46,6}$$

$$\tan \alpha = \frac{(\tan 21) (43,87)}{46,6}$$

$$\tan \alpha = \frac{(0,383) (43,87)}{46,6}$$

$$\tan \alpha = \frac{16,84}{46,6}$$

$$\tan \alpha = 0,361$$

$$\alpha = \tan^{-1} 0,361$$

$$\alpha = 19,868$$

$$\alpha = 20^\circ$$

Modulo Real

$$M_r = \frac{D_e}{\frac{N}{\cos \alpha} + 2}$$

$$M_r = \frac{46,6}{\frac{30}{\cos 20^\circ} + 2}$$

$$M_r = \frac{46,6}{\frac{30}{0,939} + 2}$$

$$M_r = \frac{46,6}{31,925 + 2}$$

$$M_r = \frac{46,6}{33,925}$$

$$M_r = 1,373$$

$$M_r = 1,4$$

Utilizamos los resultados encontrados con datos reales para la comprobación.

$$M_r = 1,4$$

$$N = 30$$

$$\alpha = 20^\circ$$

Modulo Aparente

$$M_a = \frac{M_r}{\cos \alpha}$$

$$M_a = \frac{1,4}{\cos 20^\circ}$$

$$M_a = \frac{1,4}{0,939}$$

$$M_a = 1,489$$

Diámetro Primitivos

$$D_p = M_a(N)$$

$$D_p = 1,489 (30)$$

$$D_p = 44,695$$

Diámetro Exterior

$$D_e = D_p + 2M_r$$

$$D_e = 44,695 + 2(1,4)$$

$$D_e = 47,495 \text{ (Concuerta con la medida real)}$$

Altura de diente

$$H = 2,167(M_r)$$

Angulo de hélice

$$\tan \alpha = \frac{\pi D_e}{D_h}$$

$$\tan \alpha = \frac{3,141 * 47,495}{385,786}$$

$$\tan \alpha = 0,386$$

$$\alpha = \tan^{-1} 0,386$$

$$\alpha = 21,14$$

$$D_{pc} = M * N$$

$$D_{pc} = 1,375 * 30$$

$$D_{pc} = 41,25$$

$$D_{ps} = 1,375 * 23$$

$$D_{ps} = 31,625$$

Cálculo de distancia entre centros

$$D_c = \frac{D_c + D_{ps}}{2}$$

$$D_c = \frac{41,25 + 31,625}{2}$$

$$D_c = \frac{72,875}{2}$$

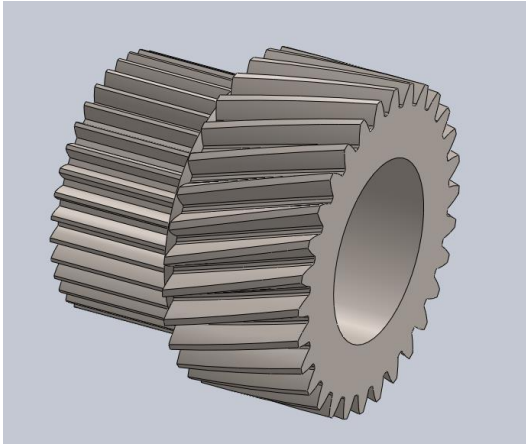
$$D_c = 36,437$$

Según los cálculos realizados se ha logrado obtener los datos más cercanos a las medidas reales para poder realizar el modelado de cada elemento.

Modelado del engranaje central (Solar)

Figura 39

Engranaje central MG1



3.3.2 Cálculos para el modelado del engranaje Central (solar) MG2

Datos:

Diámetro Exterior

$$D_e = 50,5$$

Ángulo de hélice tomado mediante la impresión de los dientes del engranaje real

$$\alpha_e = 20^\circ$$

Número de dientes del engranaje real

$$N = 23$$

Cálculo de Módulo aparente

$$M_a = \frac{D_e}{\frac{N}{\cos \alpha_e} + 2}$$

$$M_a = \frac{50,5}{\frac{23}{\cos 20} + 2}$$

$$M_a = \frac{50,5}{\frac{23}{0,939} + 2}$$

$$M_a = \frac{50,5}{24,476 + 2}$$

$$M_a = \frac{50,5}{26,476}$$

$$M_a = 1,907$$

Cálculo de Ángulo de hélice

$$\tan \alpha = \frac{\tan \alpha_e (D_e - 2M_a)}{D_e}$$

$$\tan \alpha = \frac{\tan 20 (50,5 - 2(1,907))}{50,5}$$

$$\tan \alpha = \frac{\tan 20 (50,5 - 3,814)}{50,5}$$

$$\tan \alpha = \frac{\tan 20 (46,685)}{50,5}$$

$$\tan \alpha = \frac{16,992}{50,5}$$

$$\tan \alpha = 0,336$$

$$\alpha = \tan^{-1} 0,336$$

$$\alpha = 19^\circ$$

Cálculo Modulo real

$$M_r = \frac{D_e}{\frac{N}{\cos \alpha} + 2}$$

$$M_r = \frac{50,5}{\frac{23}{\cos 19} + 2}$$

$$M_r = \frac{50,5}{\frac{23}{0,945} + 2}$$

$$M_r = \frac{50,5}{26,325}$$

$$M_r = 1,918$$

$$M_r = 2$$

Cálculo del Módulo aparente

$$M_a = \frac{M_r}{\cos \alpha}$$

$$M_a = \frac{2}{\cos 19^\circ}$$

$$M_a = \frac{2}{0,945}$$

$$M_a = 2,115$$

Diámetro Primitivos

$$D_p = (M_a * N)$$

$$D_p = 2,115 * 23$$

$$D_p = 48,65$$

Cálculo del Diámetro exterior

$$D_e = D_p + 2M_r$$

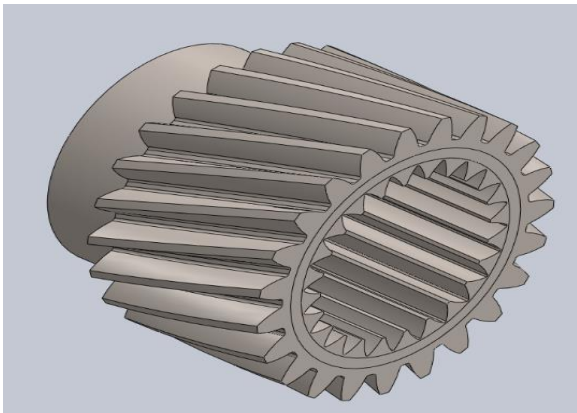
$$D_e = 48,650 + 2(2)$$

$$D_e = 52,65$$

Modelado del engranaje central (Solar) MG2

Figura 40

Engranaje central MG2.



3.3.3 Cálculos para el modelado de los satélites MG1

Datos:

Diámetro Exterior

$$D_e = 36,5$$

Ángulo de hélice tomado mediante la impresión de los dientes del engranaje real

$$\alpha_e = 23^\circ$$

Número de dientes del engranaje real

$$N = 23$$

Cálculo del Módulo aparente

$$M_a = \frac{D_e}{\frac{N}{\cos \alpha_e} + 2}$$

$$M_a = \frac{36,5}{\frac{23}{0,939} + 2}$$

$$M_a = \frac{36,5}{24,476 + 2}$$

$$M_a = \frac{36,5}{26,476 + 2}$$

$$M_a = 1,359$$

Cálculo del ángulo de hélice

$$\tan \alpha = \frac{\tan \alpha_e (D_e - 2M_a)}{D_e}$$

$$\tan \alpha = \frac{\tan 23 (36,5 - 2(1,359))}{36,5}$$

$$\tan \alpha = \frac{\tan 23 (36,5 - 2,719)}{36,5}$$

$$\tan \alpha = \frac{\tan 23 (33,780)}{36,5}$$

$$\tan \alpha = \frac{(0,424) (33,780)}{36,5}$$

$$\tan \alpha = \frac{14,339}{36,5}$$

$$\tan \alpha = 0,392$$

$$\alpha = \tan^{-1} 0,392$$

$$\alpha = 21,44^\circ$$

$$\alpha = 22^\circ$$

Cálculo del Módulo real

$$M_r = \frac{D_e}{\frac{N}{\cos \alpha} + 2}$$

$$M_r = \frac{36,5}{\frac{23}{\cos 22^\circ} + 2}$$

$$M_r = \frac{36,5}{\frac{23}{0,927} + 2}$$

$$M_r = \frac{36,5}{\frac{23}{0,927} + 2}$$

$$M_r = \frac{36,5}{24,806 + 2}$$

$$M_r = \frac{36,5}{26,806}$$

$$M_r = 1,361$$

Modelado del engranaje satélite MG1

Figura 41

Engranaje satélite MG1



3.3.4 Cálculos para el modelado de los satélites MG2

Datos:

Diámetro Exterior

$$D_e = 42$$

Ángulo de hélice tomado mediante la impresión de los dientes del engranaje real

$$\alpha_e = 18,5^\circ$$

Numero de dientes del engranaje real

$$N = 18$$

Cálculo del Módulo aparente

$$M_a = \frac{D_e}{\frac{N}{\cos \alpha_e} + 2}$$

$$M_a = \frac{42}{\frac{18}{\cos 18,5} + 2}$$

$$M_a = \frac{42}{\frac{18}{0,948} + 2}$$

$$M_a = \frac{42}{18,980 + 2}$$

$$M_a = \frac{42}{20,980 + 2}$$

$$M_a = 2,001$$

Cálculo del ángulo de hélice

$$\tan \alpha = \frac{\tan \alpha_e (D_e - 2M_a)}{D_e}$$

$$\tan \alpha = \frac{\tan 18,5^\circ (42 - 2(4,003))}{42}$$

$$\tan \alpha = \frac{(0,334) (37,996)}{42}$$

$$\tan \alpha = \frac{12,713}{42}$$

$$\tan \alpha = 0,302$$

$$\alpha = \tan^{-1} 0,302$$

$$\alpha = 16,841$$

$$\alpha = 17^\circ$$

Cálculo del Módulo real

$$M_r = \frac{42}{\frac{18}{\cos 17^\circ} + 2}$$

$$M_r = \frac{42}{\frac{18}{0,956} + 2}$$

$$M_r = \frac{42}{18,822 + 2}$$

$$M_r = \frac{42}{20,822}$$

$$M_r = 2,01$$

Cálculo del Módulo aparente

$$M_a = \frac{M_r}{\cos \alpha}$$

$$M_a = \frac{2,01}{0,956}$$

$$M_a = 2,101$$

Cálculo del diámetro primitivo

$$D_p = (M_a * N)$$

$$D_p = (2,101 * 18)$$

$$D_p = 37,833$$

Cálculo del diámetro exterior

$$D_e = D_p + 2M_r$$

$$D_e = (37,833) + 2(2,01)$$

$$D_e = (37,833) + (4,02)$$

$$D_e = 41,853$$

$$e = 42$$

Modelado del engranaje satélite MG2

Figura 42

Engranaje satélite MG2



3.3.5 Datos para el modelado de las coronas MG1-MG2

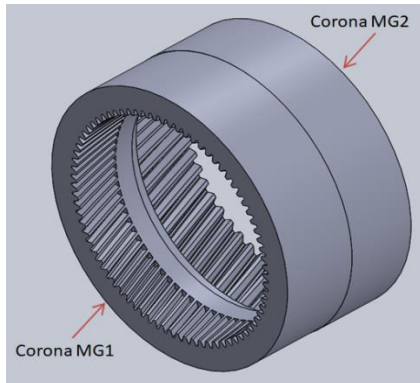
Para el modelado de los engranajes helicoidales internos (coronas), se toma el dato del módulo obtenido en los cálculos anteriormente realizados para el modelado de los satélites, ya que el módulo debe ser el mismo para que los engranajes se acoplen correctamente, y el dato del número de dientes, ancho de diente y espesores se tomaron del elemento físico.

Número de dientes de la corona MG1 es: 78

Numero de dientes de la corona MG2 es: 57

Figura 43

Corona MG1-MG2



3.3.6 Datos para el modelado de las bases de los imanes MG1-MG2

El modelado de las bases de los imanes de cada uno de los motores generadores se realizó tomando medidas reales, y los engranajes internos y externos con los datos obtenidos en los cálculos anteriores del módulo y el número de dientes de cada uno.

Figura 44

Base de imán del MG2

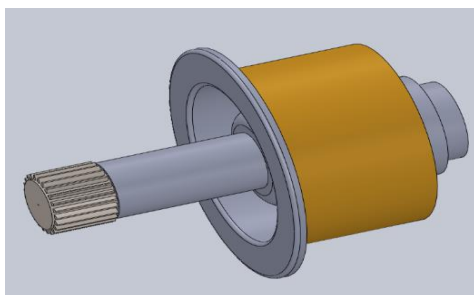
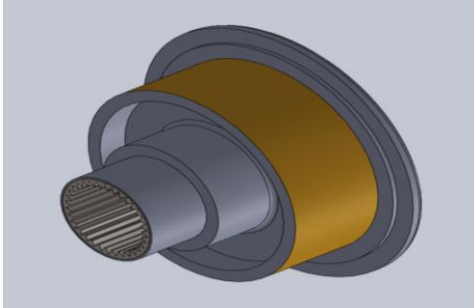


Figura 45

Base del imán del MG1



3.3.7 Datos para el modelado de las bases de los satélites MG1-MG2

Para el modelado de las bases de los engranajes planetarios se realizaron medidas reales de los elementos físicos.

Figura 46

Base de satélites MG1

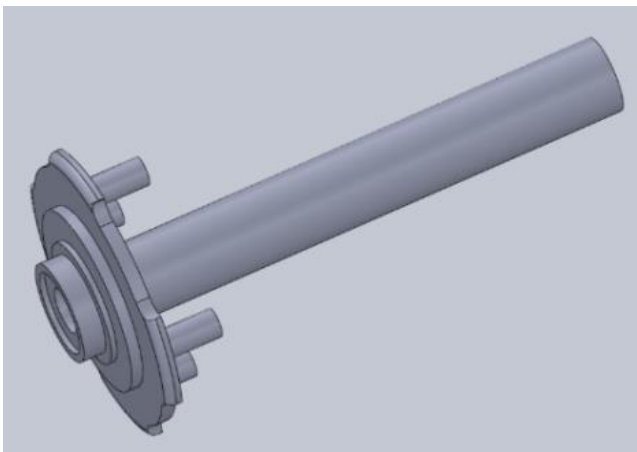
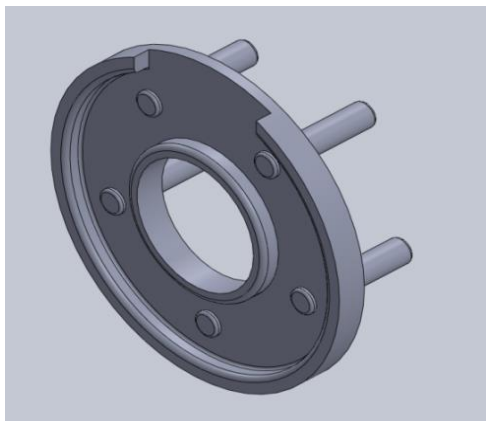
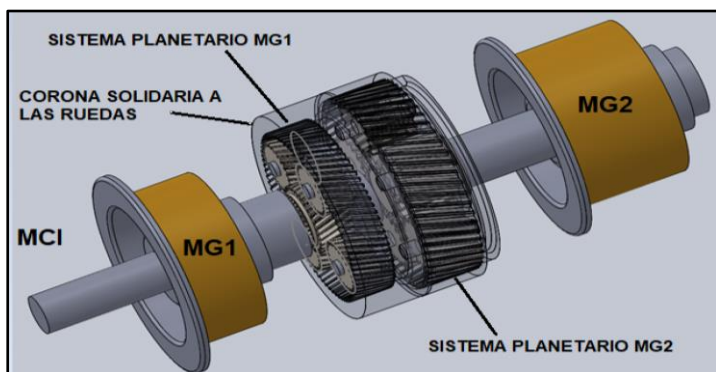


Figura 47

Base de satélites MG2**3.4 Configuración mecánica del sistema transeje en cada uno de los modos de operación.**

En este punto nos enfocaremos en los elementos que actúan en cada modo de operación.

Figura 48

Mecanismo transeje

En los modos de operación del sistema transeje tenemos los siguientes.

1. Encendido del vehículo con carga completa.
2. Vehículo detenido con el MCI accionado.
3. Vehículo en movimiento 100% eléctrico.
4. Vehículo en movimiento con el MCI encendido
5. Alta demanda de torque y velocidad
6. Freno regenerativo
7. Freno regenerativo seleccionando modo BREAK en la palanca de cambios
8. Reversa.

Tabla 10

Configuración mecánica del sistema transeje en sus modos de operación.

Modo 1: Encendido del vehículo con carga completa	
Configuración	Ilustración
<p>En este caso, el vehículo se encuentra encendido en modo READY, pero ninguno de los tres motores se encuentra en movimiento ya que no existe demanda de carga por parte de la batería y también podemos tener bloqueada la corona que al girar lo hace</p>	

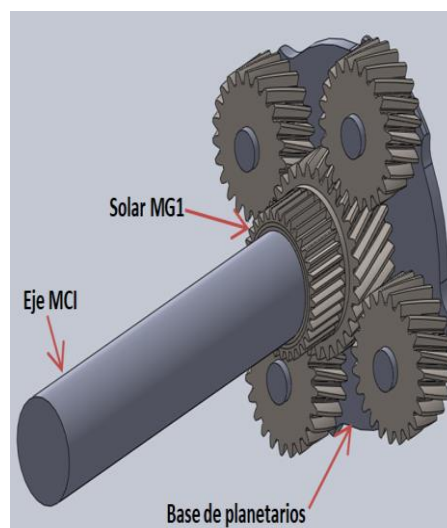
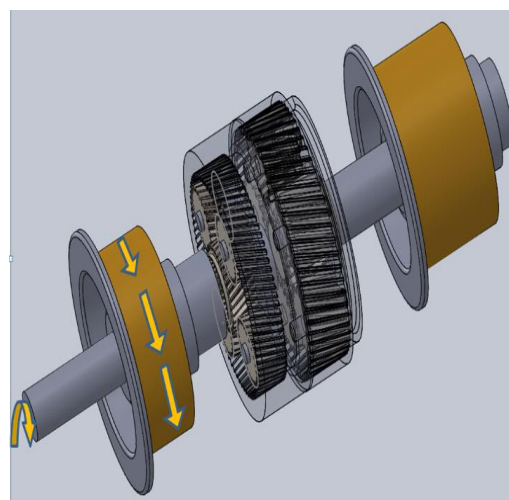
solidaria con las ruedas, por el mecanismo de parqueo.

Modo 2: Vehículo detenido con el MCI accionado.

Configuración

Al colocar el vehículo en modo READY, la ECU HV, censa el nivel de carga de la batería de alta tensión y de ser necesario se accionaran los elementos encargados de generar energía. En este caso el vehículo se encuentra con el mecanismo de parqueo accionado, lo que significa que las coronas no giran y al existir demanda de carga, el MG1 genera movimiento al solar y este de la misma forma los satélites, los cuales obligan a girar a la base de los satélites, la cual es un solo cuerpo con el eje que acopla al MCI, logrando encender este último, el cual en adelante se encargara de transmitir movimiento al MG1 para generar energía.

Ilustración



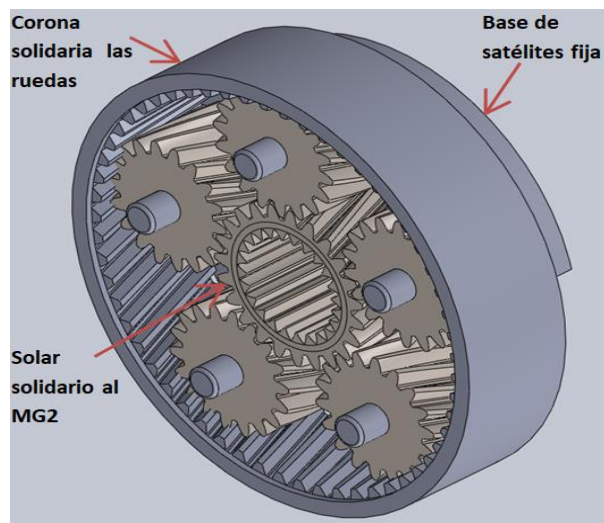
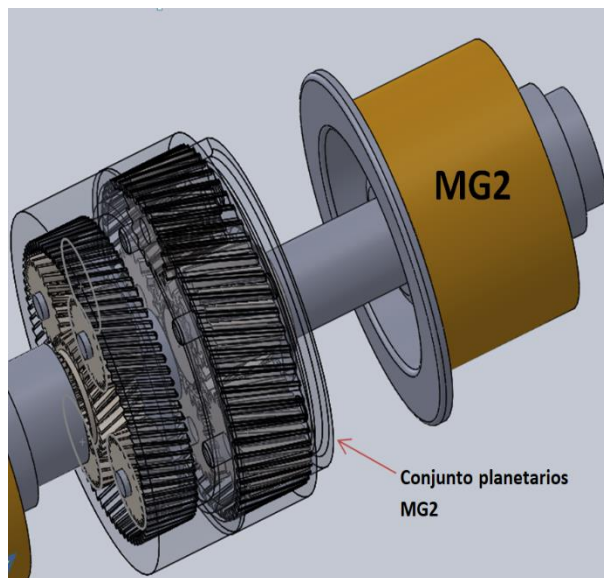
Conjunto planetario MG1

Modo 3: Vehiculó en movimiento 100% eléctrico.

Configuración
Ilustración

Al tener una carga completa de las baterías de alta tensión y no un alto requerimiento de torque y velocidad, es decir, si se requiere conducir a velocidad normal (Crucero), los componentes que entran en acción son: MG2 consume energía eléctrica generando movimiento el cual es transmitido al solar-planetario y por último la corona la que, por medio de un engranaje exterior acoplado en la corona, transmite el movimiento al diferencial.

La base de este grupo de satélites se encuentra fija en la coraza del grupo motor, al estar fija obliga a que la corona gire siempre que el MG2 gire. Entonces cuando tenemos un movimiento netamente eléctrico solamente trabaja el MG2 con su conjunto de engranajes, pero por otro lado el MG1 se encuentra girando en sentido contrario sin generar energía y



Conjunto planetario MG2

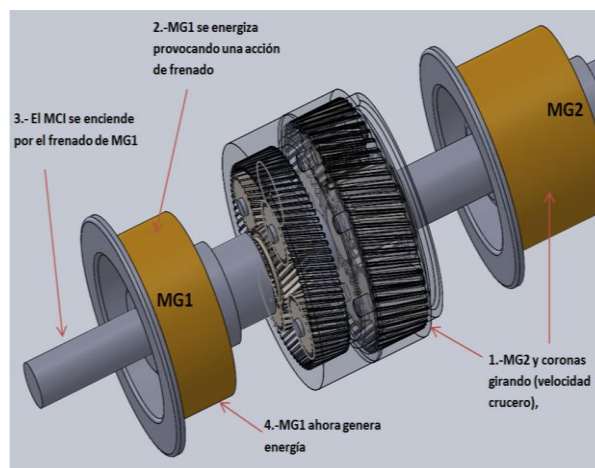
sin transmitir movimiento al MCI gracias al conjunto planetario de MG1 que absorbe el movimiento.

Modo 4: Vehículo en movimiento con el MCI encendido.

Configuración

Ilustración

Cuando el vehículo en movimiento enciende el MCI quiere decir que tenemos baja carga de la batería y alta demanda de potencia, por lo que la ECU envía la orden de energizar el MG1 provocando el frenado del mismo ya que se encontraba girando en sentido contrario, este frenado hace que la base de los satélites de MG1, la cual está unida al eje que conecta al MCI, gire y encienda al MCI, entonces el MG1 toma un rápido papel de motor de arranque y el MCI ya encendido ahora se encargara de transmitir movimiento al MG1 para abastecer de energía a la batería de alto voltaje.

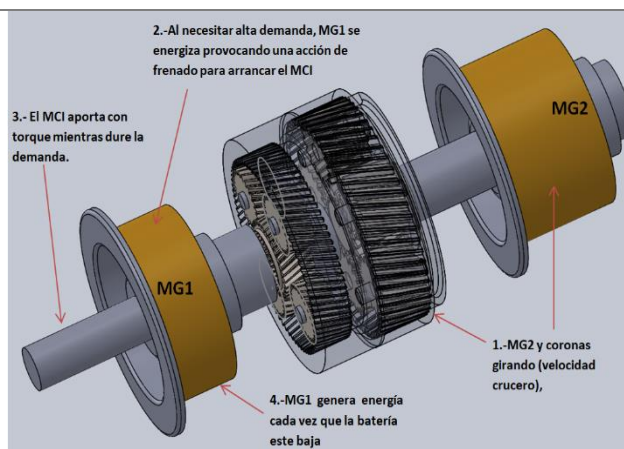


Sistema transeje Modo 4

Modo 5: Alta demanda de torque y velocidad.

Configuración

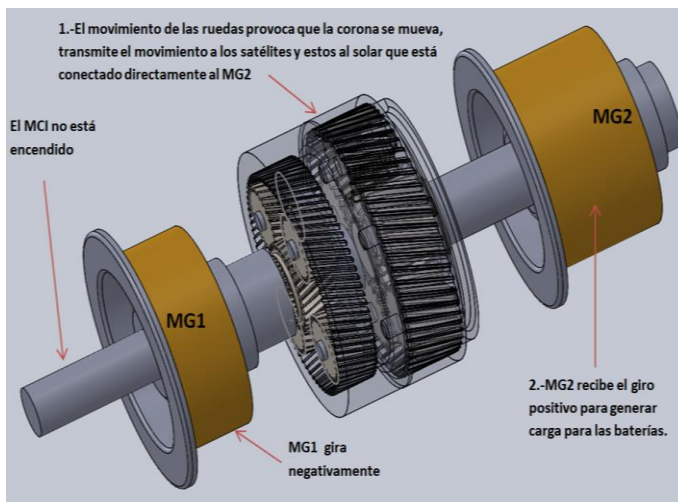
Este caso se da cuando se requiere rebasar o nos encontramos en una pendiente, por lo que operan los tres motores como en el caso anterior. Pero ahora el MCI permanecerá activado mientras dure esta demanda y el MG1 girará de forma positiva si la batería necesita carga, de lo contrario lo hará negativamente.

Ilustración


Sistema transeje Modo 5

Modo 6: Freno regenerativo
Configuración

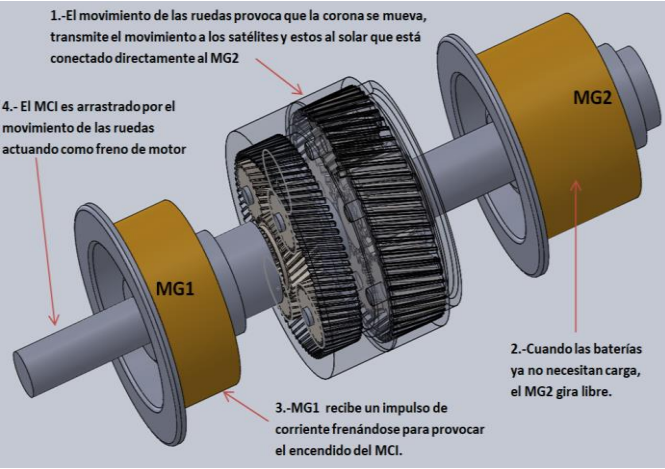
Para este modo de operación el vehículo podría estar bajando una pendiente o estando en una carretera que no presenta gran demanda, empezamos a frenar de manera consecutiva. En este caso antes de iniciar el frenado, únicamente el MG2 es el que proporciona el movimiento, MG1 se encuentra girando de manera negativa para evitar el encendido del MCI, entonces para iniciar el frenado

Ilustración


Sistema transeje Modo 6

regenerativo el MG2 aprovecha el movimiento de las ruedas oponiéndose a él y girando de manera positiva, pero esta vez el MG2 al ser impulsado se convierte en generador de carga para las baterías.

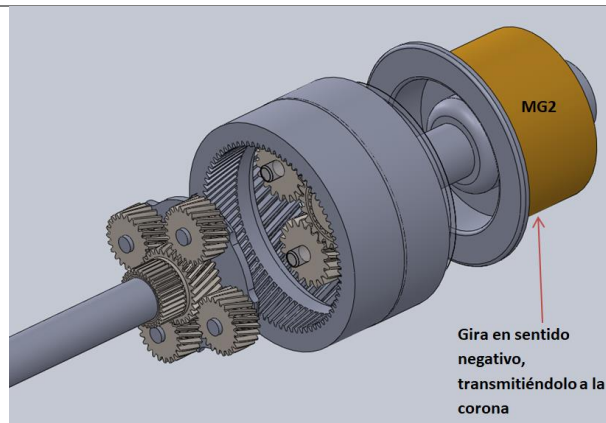
Modo 7: Freno regenerativo seleccionando modo BREAK en la palanca de cambios.

Configuración	Ilustración
<p>En esta configuración actúa un motor más que en el caso anterior. Al colocar la palanca en la posición B, el MCI se enciende con la ayuda de MG1 y ahora las ruedas arrastraran al MCI el cual ayuda al frenado del vehículo. Es aquí donde interviene el sistema planetario del MG2 el cual ayuda a que no se produzca sobre revoluciones en el MCI.</p>	 <p>1.-El movimiento de las ruedas provoca que la corona se mueva, transmite el movimiento a los satélites y estos al solar que está conectado directamente al MG2</p> <p>2.-Cuando las baterías ya no necesitan carga, el MG2 gira libre.</p> <p>3.-MG1 recibe un impulso de corriente frenándose para provocar el encendido del MCI.</p> <p>4.- El MCI es arrastrado por el movimiento de las ruedas actuando como freno de motor</p> <p style="text-align: center;"><i>Sistema transeje Modo 7</i></p>

Modo 8: Movimiento de retroceso.

Configuración	Ilustración
<p>En este caso es necesario que MG2 gire de manera negativa ya que es el que transmite el directamente el movimiento a las ruedas, esto se logra</p>	

cuando el inversor inyecta corriente en un orden de las fases en las que se dé el giro negativo de MG2. Este modo se da de manera completamente eléctrica ya que el MCI no gira negativamente, pero si opera para la generación de carga cuando aumenta la demanda de potencia en este modo.



Sistema transeje Modo 8

3.5 Análisis eléctrico de operación de los motores generadores en cada uno de los modos de operación

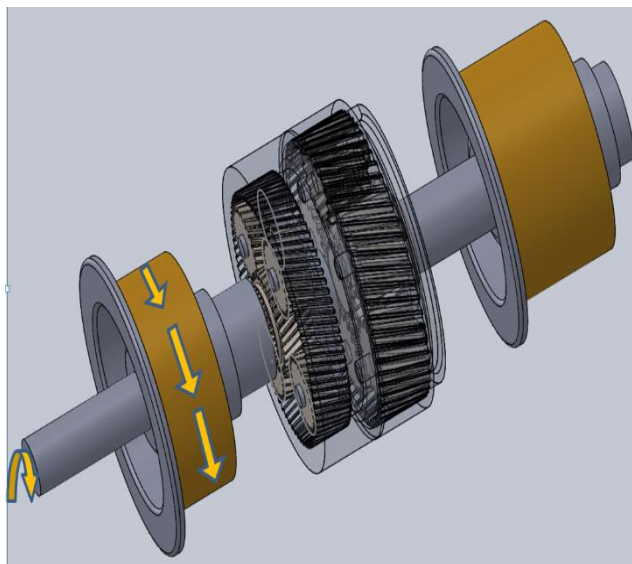
Tabla 11

Análisis eléctrico del sistema transeje en sus modos de operación

Modo 1: Encendido del vehículo con carga completa	
Configuración	Ilustración
<p>En este caso, el vehículo se encuentra encendido en modo READY, sin que ninguno de los tres motores trabaje ya que la carga de la batería está completa</p>	
Modo 2: Vehículo detenido con el MCI accionado.	

Configuración
Ilustración

La Ecu HV verifica el nivel de carga de la batería y de ser necesario da una orden de inducir corriente al MG1 para que se produzca el encendido del Motor de combustión interna, el cual impulsa al MG1 para la generación de carga.

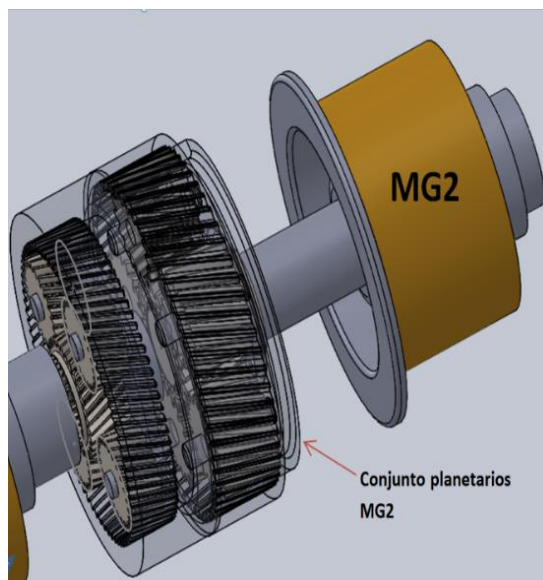


Sistema transeje Modo 2

Modo 3: Vehículo en movimiento 100% eléctrico.

Configuración
Ilustración

Este modo de operación se da cuando la batería se encuentra total mente cargada y la demanda de potencia no es alta. Por lo que solamente trabaja el MG2 generando el movimiento del vehículo.

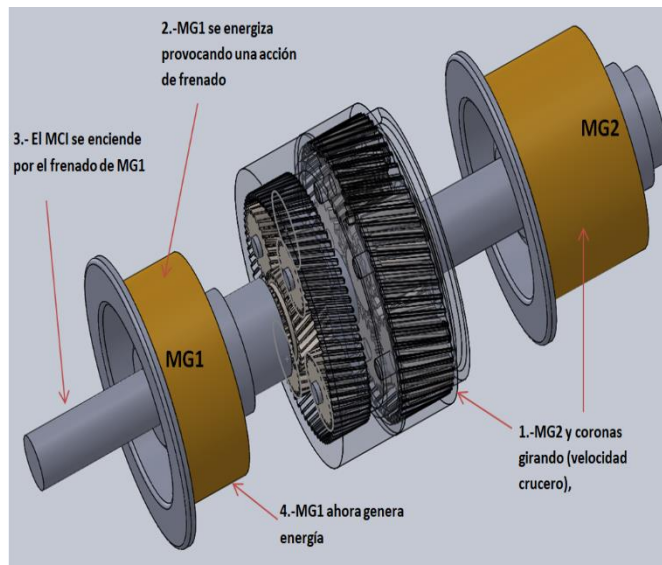


Sistema transeje Modo 3

Modo 4: Vehículo en movimiento con el MCI encendido.

Configuración
Ilustración

Al existir gran demanda de potencia al ya estar en movimiento el vehículo, el inversor induce corriente al MG1 para tratar de detenerlo o que gire más lento y esto encienda el MCI y este después transmita movimiento positivo al MG1 para generar carga.



Sistema transeje Modo 4

Modo 5: Alta demanda de torque y velocidad.

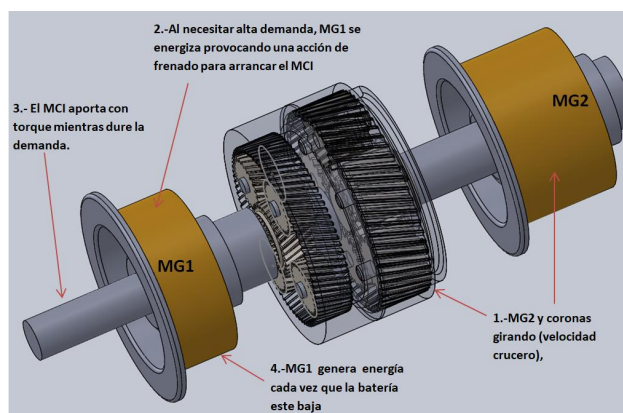
Configuración
Ilustración

En este caso trabajan los tres motores en equipo (MG1, MG2, MCI).

MCI: transmite potencia ayudando al MG2 e impulsa al MG1.

MG1: trabaja como motor de arranque por un instante y después realiza el trabajo de generador.

MG2: es directamente el motor que genera torque y velocidad a las ruedas.

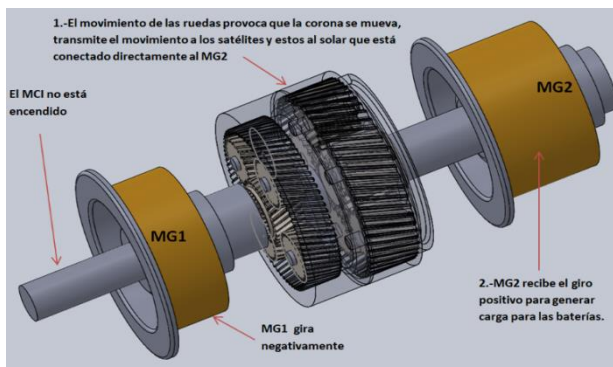


Sistema transeje Modo 5

Modo 6: Freno regenerativo

Configuración

MG2: trabaja como generador aprovechado el impulso que viene de las ruedas motrices. Esto lo realiza siempre y cuando la batería necesite recarga.

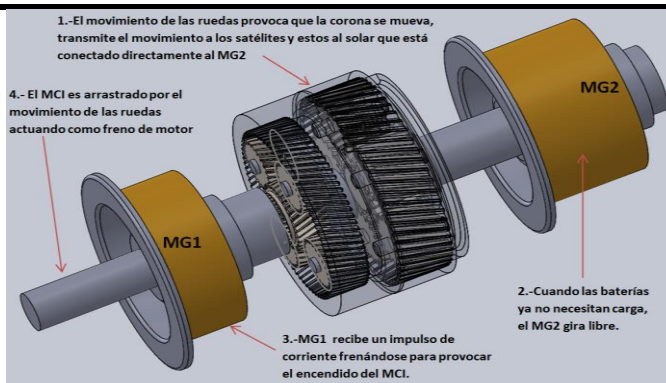
Ilustración


Sistema transeje Modo 6

Modo 7: Freno regenerativo seleccionando modo BREAK en la palanca de cambios.

Configuración

En este modo de operación se da al seleccionar la opción "B" de la palanca de cambios, pero en este caso el MCI sin recibir pulsos de inyección es arrastrado por el impulso de las ruedas motrices. Y el MG2 trabaja de la misma manera que en el modo anterior.

Ilustración


Sistema transeje Modo 7

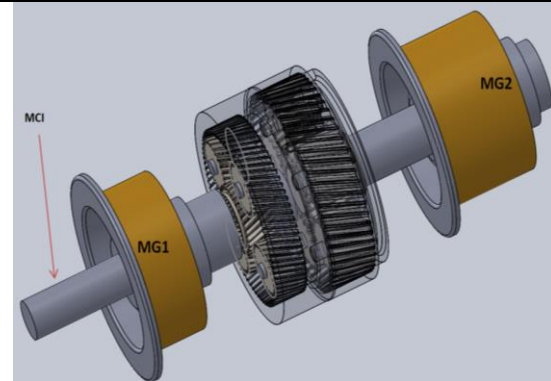
Modo 8: Movimiento de retroceso.

Configuración
Ilustración

MG2: gira de manera negativa por la configuración de inducción de corriente por parte del inversor.

MG1: enciende el motor de combustión si existe mayor demanda de potencia.

MCI: impulsa al MG1 para la generación de carga.



Sistema transeje Modo 8

3.6 Análisis de la relación de transmisión en el sistema transeje del vehículo Toyota

Lexus.

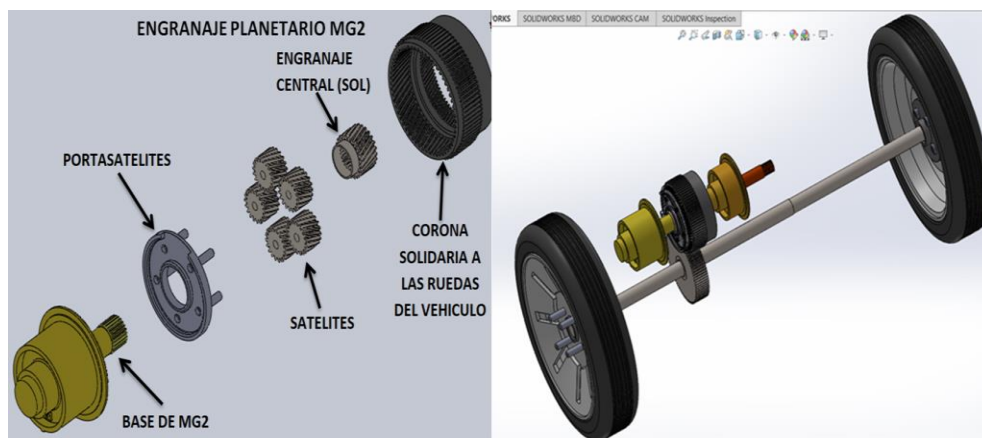
El engranaje planetario nos da la facilidad de trabajar con varios modos de operación, es decir los distintos engranajes pueden trabajar como engranajes de entrada de potencia o como salida de potencia. En el Sistema transeje del vehículo híbrido Toyota Lexus, podemos encontrar dos juegos de engranajes planetarios, uno que tiene el porta satélites fijo que trabaja con el MG2 y el siguiente que tiene todos sus elementos móviles que trabaja con el MG1.

Entonces con el estudio realizado anteriormente del sistema transeje en cada uno de sus modos de operación, el MG2 es el único elemento que genera directamente el movimiento a las ruedas del vehículo, por lo tanto la relación de transmisión se encuentra directamente ligada al engranaje planetario MG2.

3.6.1 Engranaje planetario MG2 en la relación de transmisión.

Figura 49

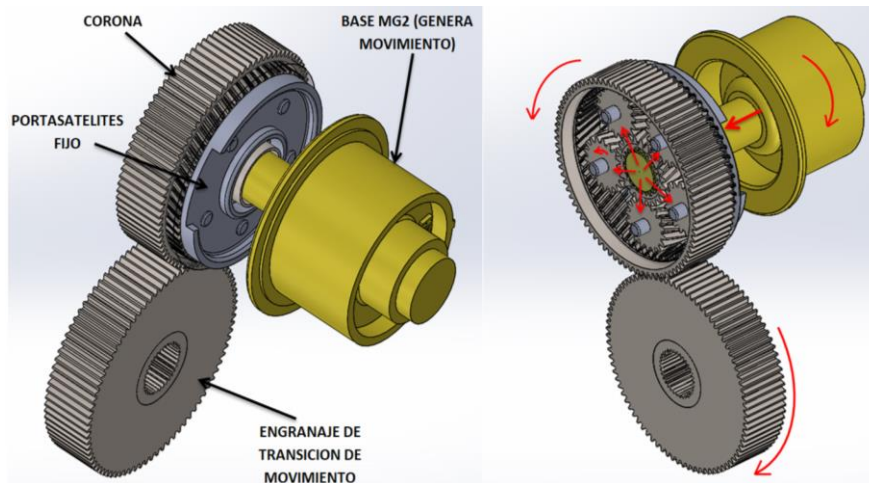
Engranaje planetario MG2 en el sistema transeje



En el sistema transeje la relación de transmisión está direccionada únicamente desde el MG2 a las ruedas motrices, es decir MG2 produce el movimiento transmitiéndolo por el engranaje planetario, tomando en cuenta que el porta satélites se encuentra fijo a la coraza del grupo motor, por lo que los satélites se encargan de transmitir el movimiento a la corona, la cual en su exterior posee un engranaje que se conecta a un engranaje de transición de movimiento al diferencial.

Figura 50

Flujo de movimiento de la relación de transmisión



Para el cálculo de la relación de transmisión tomamos en cuenta los elementos del tren epicycloidal que trabaja con el MG2.

- MG2: es el encargado de generar movimiento para transmitirlo a las ruedas.
- Engranaje central (Sol): este elemento está conectado directamente al eje del MG2, y transmite movimiento a las satélites.
- Satélites: son los encargados de transmitir el movimiento directamente a la corona ya que el porta satélites es fijo.
- Corona: recibe el movimiento de los satélites, girando de forma contraria a la dirección del MG2. A corona posee un engrane exterior el cual conecta a un engrane de transición.
- Engranaje de transición: se encarga de devolver el sentido de giro del MG2 y de transmitir la potencia al diferencial.

Tabla 12

Relación de transmisión

ENTRADA	SALIDA	FIJO	DESMULTIPLICACION
Solar (A) Z=23	Porta – satélites (C)	Corona (B) Z=57	$i = 1 + \frac{Z_B}{Z_A}$ $i = 1 + \frac{57}{23}$ <p>i=3.4782</p>
Corona (B) Z=57	Porta – satélites (C)	Solar (A) Z=23	$i = 1 + \frac{Z_B}{Z_A}$ $i = 1 + \frac{23}{57}$ <p>i=1.40</p>
Porta – satélites (C)	Solar (A) Z=23	Corona (B) Z=57	$i = \frac{1}{1 + \frac{Z_B}{Z_A}}$ $i = \frac{1}{1 + \frac{57}{23}}$ <p>i=0.6764</p>
Porta – satélites (C)	Corona (B) Z=57	Solar (A) Z=23	$i = \frac{1}{1 + \frac{Z_A}{Z_B}}$ $i = \frac{1}{1 + \frac{23}{57}}$ <p>i=0.7142</p>
Solar (A)	Corona (B)	Porta – satélites	$i = -\frac{Z_B}{Z_A}$

ENTRADA	SALIDA	FIJO	DESMULTIPLICACION
Z=23	Z=57	(C)	$i = -\frac{57}{23}$ i=-2.4782
Corona (B)	Solar (A)	Porta – satélites	$i = -\frac{Z_A}{Z_B}$
Z=57	Z=23	(C)	$i = -\frac{23}{57}$ i=-0.4035

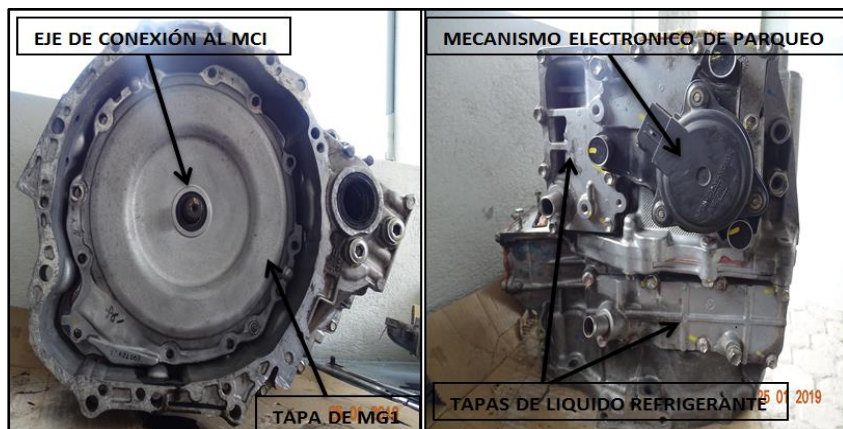
3.7 Elaboración de la maqueta didáctica para el análisis de los modos de operación en el sistema transeje del vehículo híbrido Toyota Lexus.

3.7.1 Reconocimiento de los elementos a visualizar en la maqueta.

Realizamos la inspección externa e interna del grupo motor de manera visual para poder determinar las áreas en las que debemos realizar los cortes con los que se pueda lograr observar de la mejor manera el funcionamiento del sistema transeje.

Figura 51

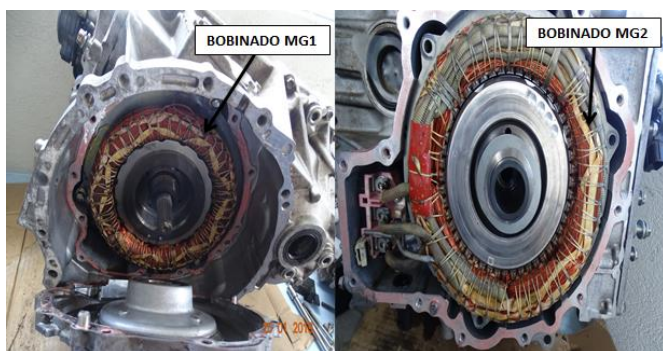
Grupo motor generador Toyota Lexus



En la parte externa del grupo motor podemos observar tapa de circulación de refrigerante, orificios del eje de transmisión al diferencial y las tapas de los motores generadores.

Figura 52

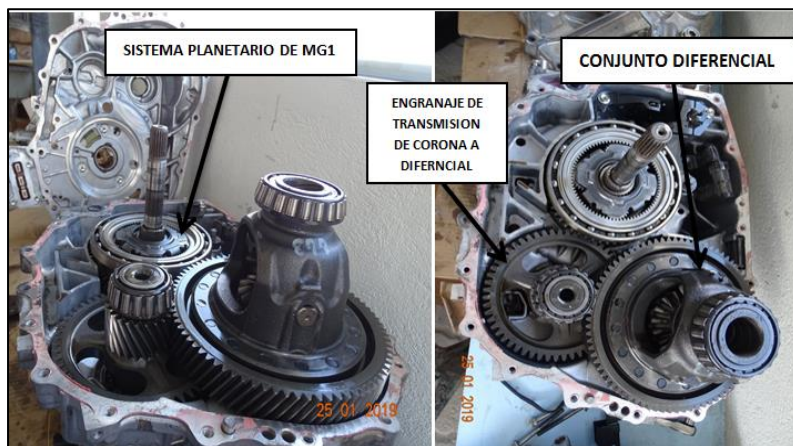
Bobinados de MG1 y MG2



Verificamos la ubicación exacta de los engranajes que conforman el sistema transeje al desarmar el grupo motor, y de esta manera determinamos los sitios para realizar las perforaciones que nos permitan observar la mayor parte de estos elementos en movimiento.

Figura 53

Ubicación del mecanismo transeje



3.7.2 Perforación de coraza

Empezamos a realizar las perforaciones y la construcción de la estructura de la base para el motor generador, para así poder ubicar y determinar la mejor posición para la manipulación y visualización del funcionamiento de la maqueta.

Figura 54

Proceso de perforación y estructura



3.7.3 Montaje del grupo motor en la base

Se fabricaron tres ejes de mando para el MG1, MG2 y MCI. Para el eje del MCI se realizaron varios acoples para poder realizar la conexión con el eje de la base de los satélites de MG1, y este eje se encuentra dentro del eje que conecta a la base del imán MG1. Para el eje del imán de MG1 se realizaron unos acoples para la conexión y la instalación de rodamientos los que permiten que el eje del MCI y MG1 giren independientes, y por último se realizó un mecanismo de dos ejes unidos por cadena para poder manipular el MG2, esto fue posible suspendiendo la bomba de aceite del grupo motor generador.

Figura 55

Instalación de los ejes y volantes de mando



3.7.4 Especificación de los volantes de mando y de elementos adicionales

En este punto se realizaron correcciones en el ensamblaje de la maqueta, las especificaciones de los volantes de mando, y la descripción de los elementos que fueron suspendidos para poder realizar la manipulación de MG1, MG2 y MCI.

Figura 56

Maqueta didáctica de los modos de operación del sistema traseje del vehículo híbrido



CAPÍTULO IV

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS MECÁNICO Y ELÉCTRICO EN LOS MODOS DE OPERACIÓN.

4.1 Análisis de funcionamiento en los modos de operación de la Maqueta didáctica.

Al haber reconocido cada uno de los elementos que conforman el sistema transeje y la función que desempeñan cada uno de ellos, podemos operar el prototipo mediante los volantes ubicados de tal manera que nos permiten transmitir movimiento al MG1, MG2 y MCI según nuestra necesidad de verificar los elementos que se activan en cada uno de los modos de operación del vehículo híbrido.

Figura 57

Prototipo de simulación de los modos de operación en el sistema transeje

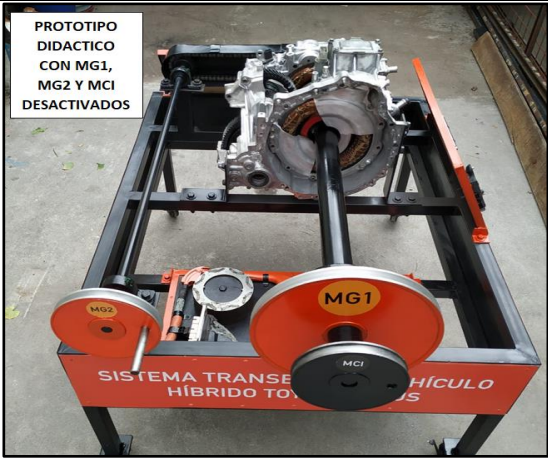
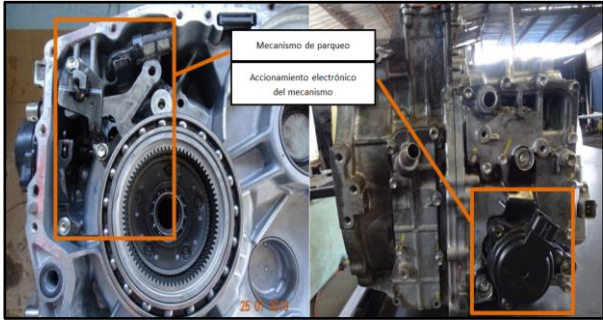


Para un mejor entendimiento de los elementos que se activan en cada uno de los modos de operación, utilizaremos los elementos mecánicos modelados anteriormente y

procederemos a realizar el ensamblaje del sistema transeje según el análisis en cada modo de operación.

Tabla 13

Análisis de funcionamiento en los modos de operación en la maqueta didáctica

Modo 1: Encendido del vehículo con carga completa	
Elementos activados	Prototipo didáctico
<ul style="list-style-type: none"> • El vehículo se encuentra en modo READY, pero ninguno de los elementos del sistema transeje se encuentran activados. • Se encuentra accionado el mecanismo de parqueo. 	 <p><i>Prototipo sistema transeje</i></p>
Funcionamiento	Mecanismo de parqueo
<p>En este modo de operación el vehículo se encuentra sin demanda de energía, por lo que no se activarían el MG1 y MCI, por otro lado al estar accionado el mecanismo de parqueo, no opera el MG2</p>	 <p><i>Mecanismo de parqueo</i></p>



Despiece del mecanismo de parqueo

Modo 2: Vehículo detenido con el MCI accionado.

Elementos activados

Prototipo didáctico

- MG1: acciona el engranaje central
- MCI: acciona el porta satélites (base de satélites)



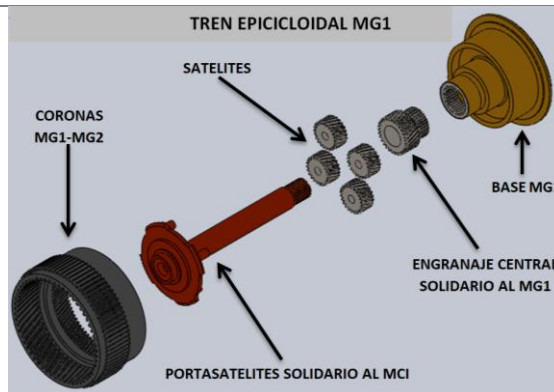
Movimientos en el prototipo

Funcionamiento

Ensamblaje de elementos relacionados

En este modo, la ECU verifica el nivel de carga de la batería de alta tensión y de encontrarse baja, activa el MCI (PORTASATELITES) utilizando el MG1 (ENGRANAJE CENTRAL) como un motor de arranque, esto se da por un breve

lapso de tiempo, al activarse el MCI, ahora es el MG1 el que es impulsado por MCI logrando generar energía para recargar la batería de alta tensión.



Elementos relacionados Modo 2

Modo 3: Vehículo en movimiento 100% eléctrico.

Elementos activados

Prototipo didáctico

- MG2: acciona el engranaje central, satélites y corona.



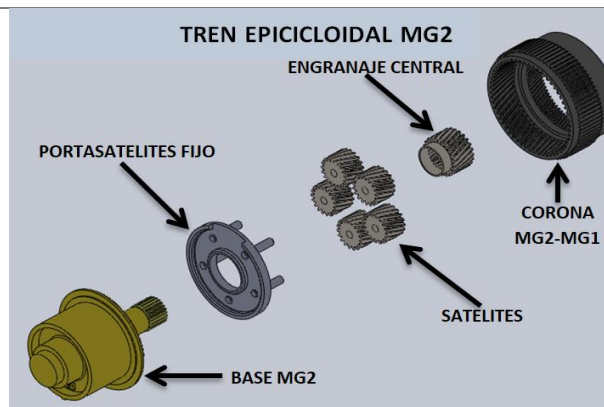
Movimientos en el prototipo

Funcionamiento

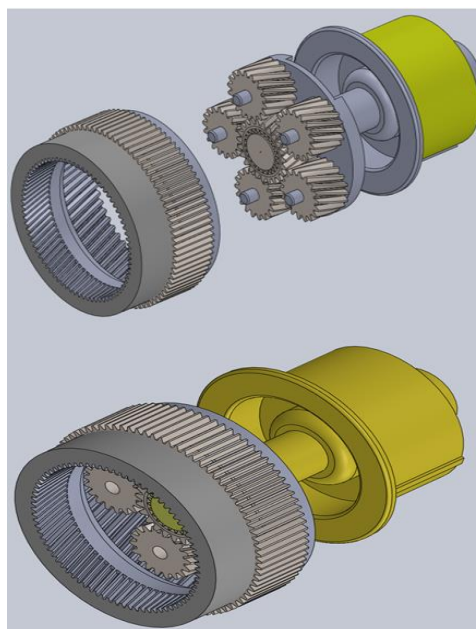
Ensamblaje de elementos

En este modo de operación el MG2 genera movimiento consumiendo la energía de la batería de alta tensión, este

movimiento es transmitido por el engranaje central (conectado directamente a la base del MG2) a los satélites y de estos a la corona, la que forzosamente gira ya que el porta satélites es fijo a la carcasa del grupo motor generador, el movimiento de la corona está conectado directamente al diferencial. El movimiento generado por MG2 provoca el movimiento negativo de la base de MG1 esto quiere decir que aunque MG1 se esté moviendo no está generando energía.



Elementos relacionados en Modo 3



Ensamblaje de elementos

Los satélites de MG1, nos ayudan a direccionar el movimiento generado por MG2 al engranaje central y a la base de MG1, esto nos ayuda a mantener el MCI deshabilitado.

Modo 4: Vehículo en movimiento con el MCI encendido.

Elementos activados
Prototipo didáctico

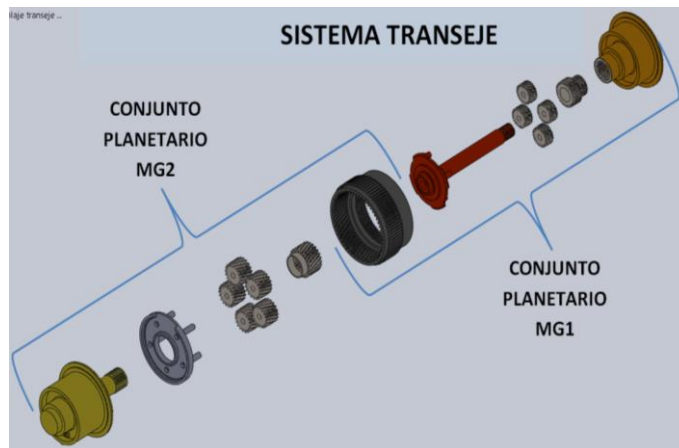
- MG2: acciona el engranaje central, satélites y corona.
- MG1: acciona el engranaje central, satélites y portasatelites.
- MCI: acciona el portasatelite, satélites y engranaje central el que se conecta directamente al MG1



Movimientos en prototipo

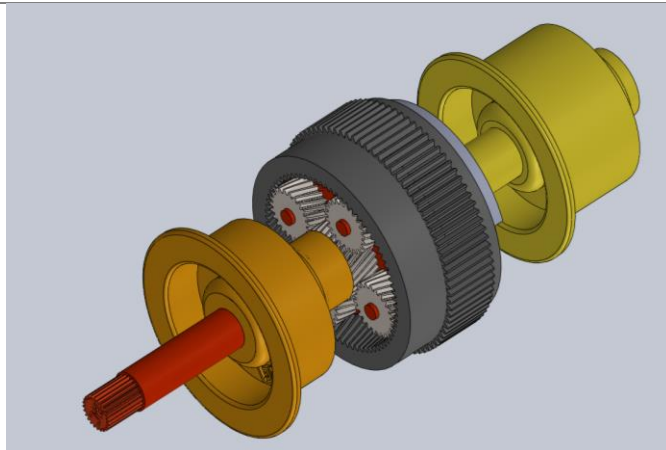
Funcionamiento
Ensamblaje de elementos

En este modo de operación el MG2 genera movimiento, transmitiéndolo desde el engranaje central, a los satélites, la corona y por ultimo al diferencial, como vimos anteriormente, este movimiento provoca que el MG1 gire en sentido contrario sin generar energía, pero de requerir una mayor potencia para el vehículo o simplemente recargar la batería , la ECU inyecta pulsos de



Elementos relacionados en Modo 4

corriente a MG1 lo que provoca el frenado del mismo y el movimiento que los satélites direccionaban a MG1 ahora estará dirigido al portasatelites que está conectado directamente al MCI provocando así el encendido del mismo, en este momento el MCI genera movimiento impulsando al MG1 a girar en dirección positiva y de esta forma se convierte nuevamente en generador de energía.



Ensamblaje de elementos Modo 4

Modo 5: Alta demanda de torque y velocidad.

Elementos activados

Prototipo didáctico

- MG2: acciona el engranaje central, satélites y corona.
- MG1: acciona el engranaje central, satélites y portasatelites.
- MCI: acciona el portasatelite, satélites y engranaje central el que se conecta directamente al MG1

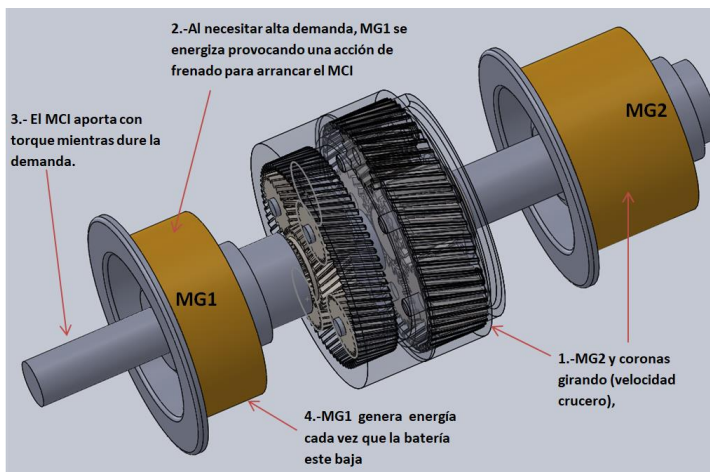


Movimientos en prototipo

Funcionamiento

Ensamblaje de elementos

En este modo de operación trabajan el MG2 transmitiendo el movimiento a las ruedas motrices, MG1 actúa en un breve momento como motor de arranque para activar el MCI, y el MCI al ya estar activado impulsa al MG1 que en esta instancia actúa como generador. Por otro lado al estar activado el MCI facilita el movimiento de MG2 y al existir alta demanda de torque oprimiendo a fondo el pedal del acelerador, el MCI aumenta las revoluciones para facilitar aún más el movimiento de MG2 y ganar potencia.



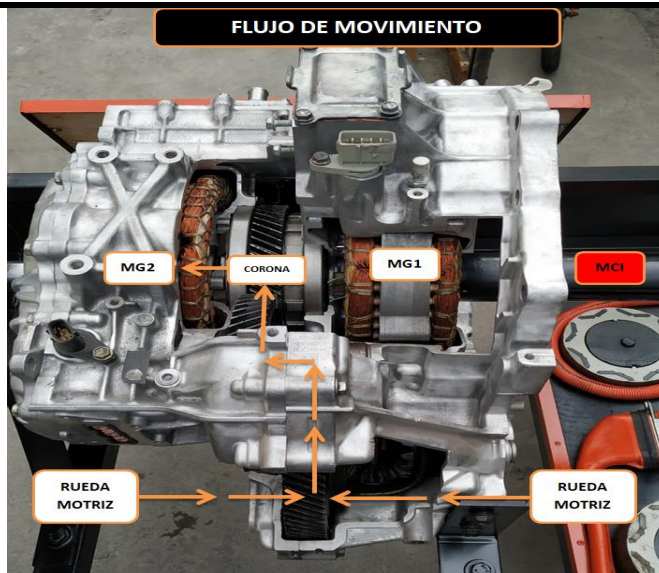
Ensamblaje de elementos relacionados en Modo 5

Modo 6: Freno regenerativo

Elementos activados

Prototipo didáctico

MG2: acciona la corona, los satélites, el engranaje central y el MG2

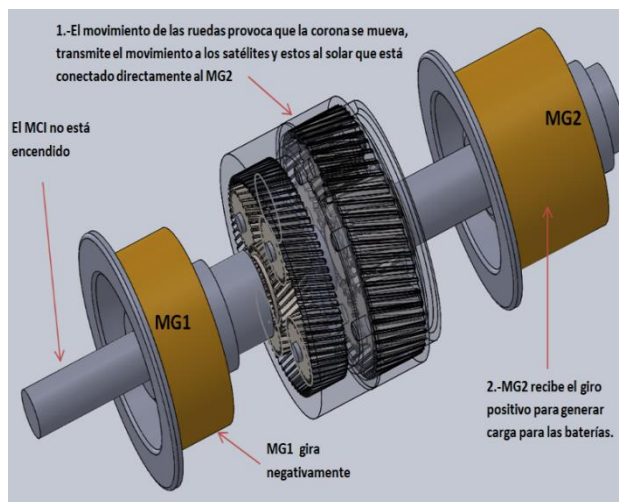


Flujo de movimiento en prototipo

Funcionamiento

En este modo de operación, los elementos que operan lo hacen ahora desde las ruedas motrices, al diferencial, la corona, a los satélites, al engranaje central hasta el MG2. El movimiento está direccionado de esta manera ya que se aprovechará el movimiento de las ruedas en el frenado y ahora es el movimiento de las ruedas las que impulsan a MG2 convirtiéndolo en generador de energía para la recarga de la batería de alta

Ensamblaje de elementos



Ensamblaje de elementos relacionados en Modo 6

tensión.

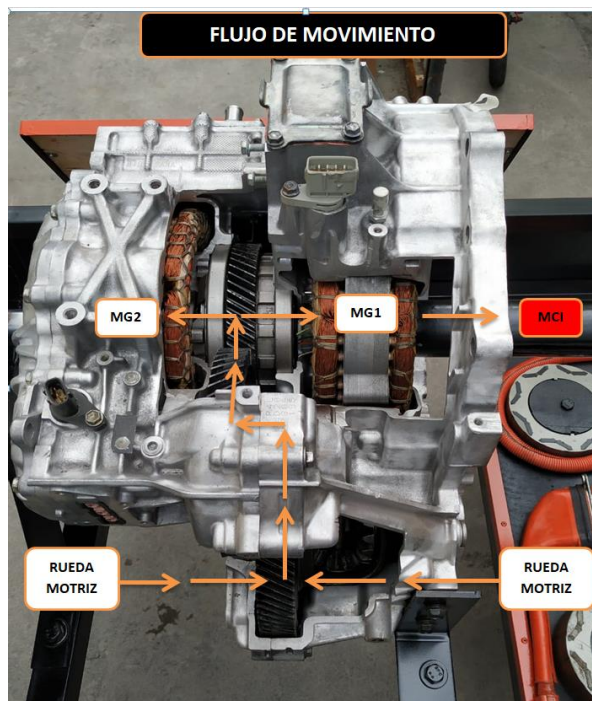
Modo 7: Freno regenerativo seleccionando modo BREAK en la palanca de cambios.

Elementos activados

Prototipo didáctico

MG2: acciona la corona, los satélites, el engranaje central.

El MG2 como generador y arrastra el portasatelites de MG1.



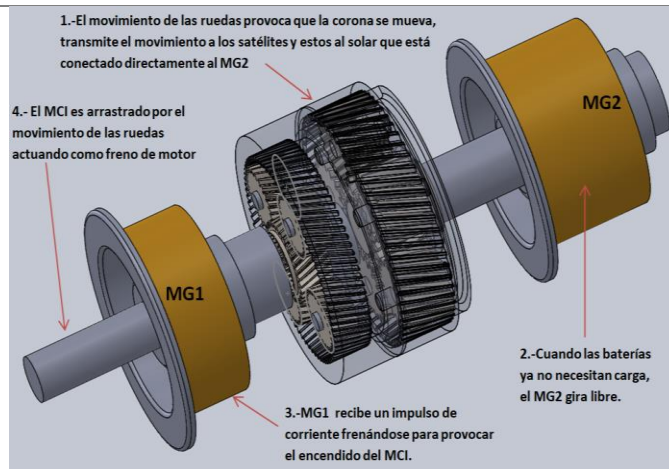
Flujo de movimiento en maqueta

Funcionamiento

Ensamblaje de elementos

En este modo de operación se da al seleccionar la opción "B" de la palanca de cambios, pero en este caso el MCI sin recibir pulsos de inyección es arrastrado por el impulso de las ruedas motrices. Y el MG2 trabaja de la misma manera que en el modo anterior. Entonces el

movimiento es direccionado desde las ruedas motrices pasa por el tren epicicloidal de MG2 y de igual forma el MG1 es energizado para el los



Ensamblaje de elementos en Modo 7

Modo 8: Movimiento de retroceso.

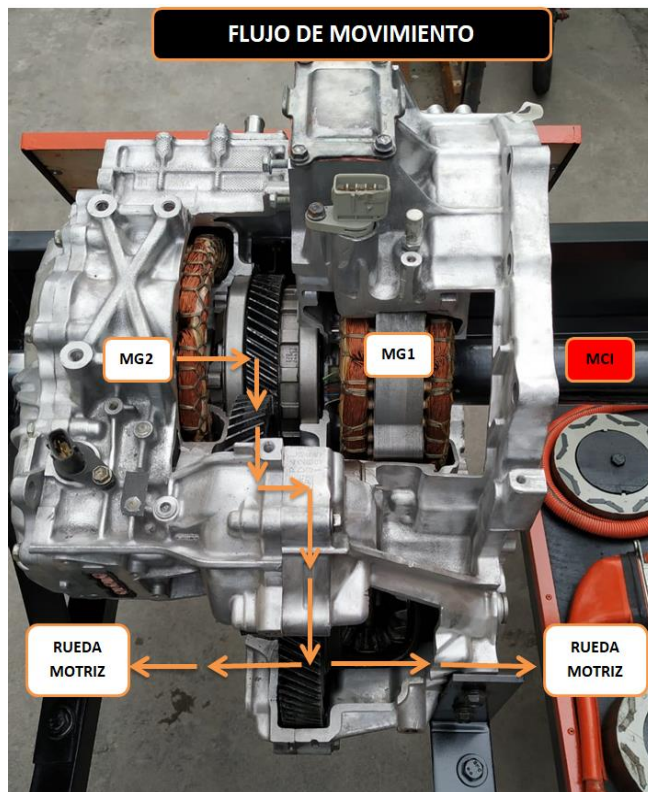
Elementos activados

Prototipo didáctico

MG2: gira de manera negativa por la configuración de inducción de corriente por parte del inversor haciendo girar el engranaje central.

MG1: enciende el motor de combustión si existe mayor demanda de potencia.

MCI: impulsa al MG1 para la generación de carga de existir demanda de carga.



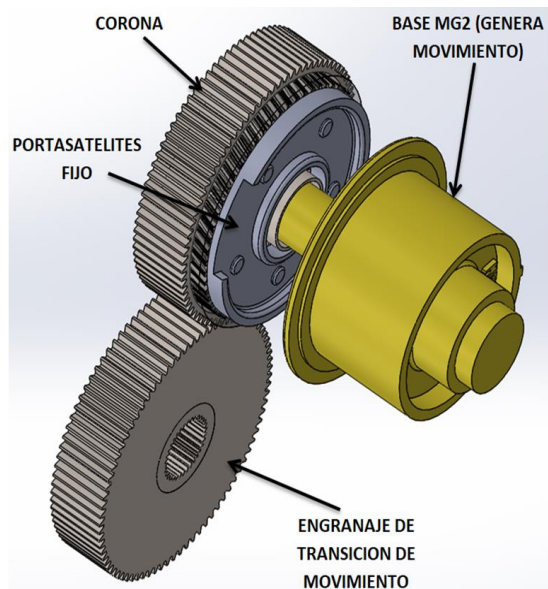
Flujo de movimiento en prototipo

Funcionamiento
Ensamblaje de elementos

En este modo de operación se induce corriente al MG2 verificando la polaridad, de tal manera que gire en sentido contrario.

El movimiento es direccionado normalmente, por el engranaje central, los satélites, la corona y por ultimo al diferencial

Si existe demanda de energía en la batería o se necesita mayor potencia para el modo retro, actúa el MG1 encendiendo el MCI para producir energía.



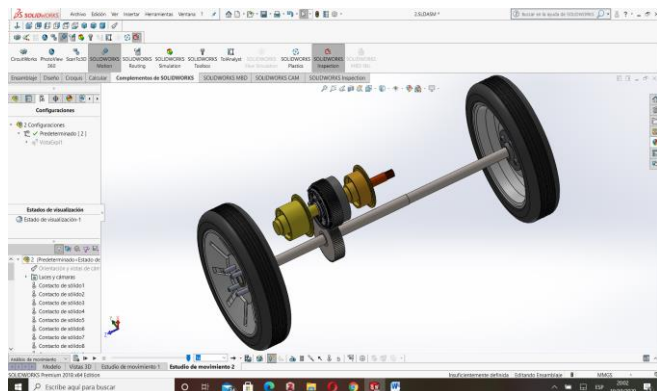
Ensamblaje de elementos en Modo 8

4.2 Simulación de movimiento en los modos de operación.

Al realizar la simulación de movimiento en los diferentes modos de operación, podemos entender de manera más clara el trabajo que desempeña cada uno de los elementos, ya que podemos utilizar las herramientas establecidas en el software para visualizar o no cualquier elemento según lo necesitemos y por otro lado podemos manipular manualmente el movimiento de los motores generadores o automáticamente designar revoluciones a cada uno.

Figura 58

Ensamblaje del sistema transeje

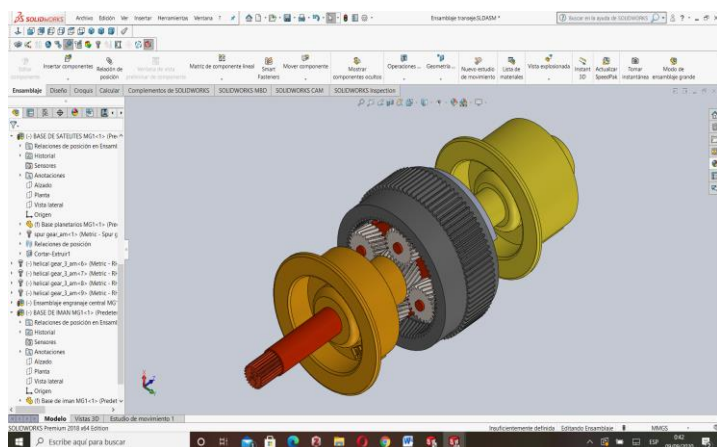


4.2.1 Simulación de movimientos en los diferentes modos de operación.

Después de realizar el ensamblaje con las debidas restricciones y relaciones de posición, verificamos el correcto movimiento de los elementos de manera manual, esta inspección se la realiza para que al momento de realizar la simulación, el mecanismo no presente errores.

Figura 59

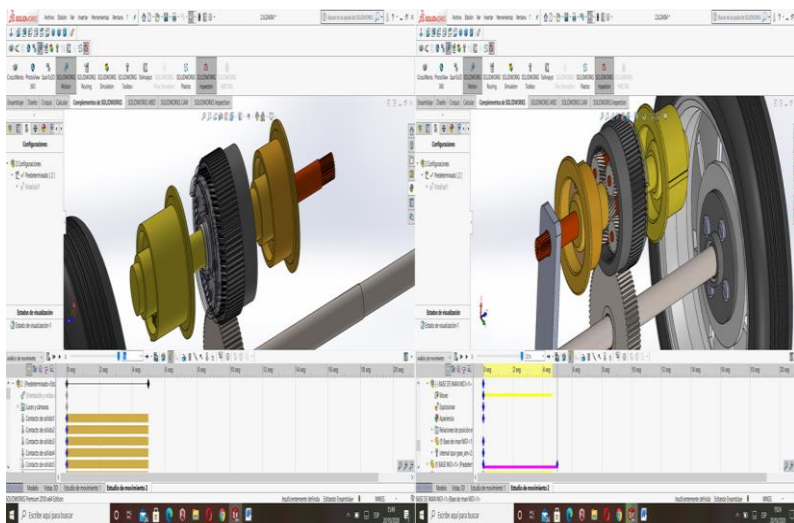
Verificación de movimientos



En este punto procedemos a realizar la simulación de los distintos modos de operación, colocando distintas restricciones de movimiento en los diferentes componentes para poder obtener la simulación correcta en cada modo de operación.

Figura 60

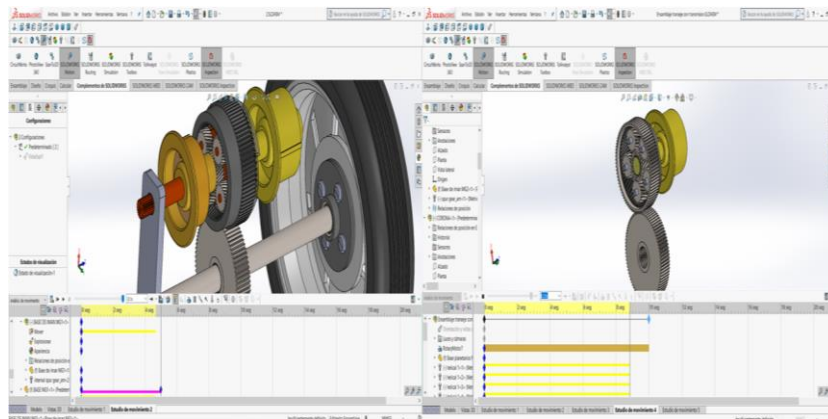
Simulación de movimientos en los diferentes modos de operación



Cada de modo de operación se lo realizo en distintos estudios de movimiento para poder realizar el análisis de operación de forma individual. En cada estudio de movimiento realizamos la selección de la sección que deseamos visualizar para entender la operación de los elementos.

Figura 61

Seccionamiento de elementos que intervienen en cada modo de operación

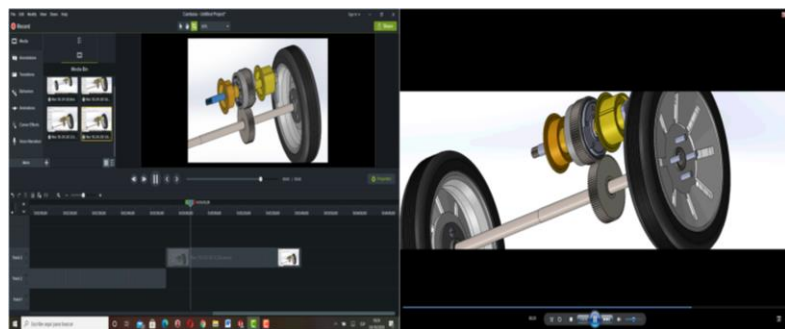


4.2.2 Edición de los modos de operación.

Después de haber realizado el reconocimiento de los elementos del sistema transeje que intervienen en cada modo de operación y al haber realizado la simulación en cada uno de los modos de operación, se realizó la edición de un video demostrativo del funcionamiento del sistema transeje en sus diferentes modos de operación.

Figura 62

Edición detallada de video demostrativo



CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

Se describe la manera de cómo fueron empleados los recursos humanos, financieros, tecnológicos y materiales de manera más eficiente, logrando alcanzar las metas y objetivos propuestos en esta tesis.

4.1 Recursos

5.1.1 Recurso humano

Para la tesis con el tema "ANÁLISIS ELÉCTRICO Y MECÁNICO EN LOS MODOS DE OPERACIÓN EN EL SISTEMA TRANSEJE DEL VEHÍCULO HÍBRIDO TOYOTA LEXUS" la investigación del tema fue realizada por Wilmer Fabian Farinango Toro con la asesoría del Ingeniero José Quiroz.

Tabla 14

Recursos humanos

Nombre	Función
Wilmer Farinango	Investigador
Ing. José Quiroz	Director del proyecto.

Nombre	Función
Ing. Germán Erazo	Colaborador científico

5.1.2 Recursos Financieros

Los fondos utilizados para la presente tesis son propios los que se asignaron primordialmente para el desarrollo del prototipo físico, estos recursos fueron manejados de la manera más eficiente para lograr los objetivos planteados en la misma.

5.1.3 Recursos tecnológicos

Para la realización correcta de la investigación es necesario contar con equipos tecnológicos que se mencionan a continuación:

Tabla 15

Recursos tecnológicos

Nombre	Descripción
Software Microsoft Office	Elaboración del documento
Software Especializado de diseño	Modelado de los elementos que conforman el mecanismo
Software para edición de video	Edición de video de los modos de operación

Nombre	Descripción
Servicio de internet	Consulta bibliográfica y de tecnología
Cámara	Captura de imágenes
Laptop	Redacción del documento y utilización de software de diseño y edición de video

5.1.4 Recursos materiales

Para el desarrollo de la investigación es necesario elementos y componentes que se presentan a continuación:

Tabla 16

Recursos materiales

Materiales- Herramientas	Descripción
Grupo Motor generador GM del vehículo Toyota Lexus	Análisis del sistema transeje
Juego de dados, llaves y destornilladores	Desmontaje y montaje del grupo motor generador
Extractor de golpe	Desmontaje especial de las tapas de MG1 y MG2
Torno	Elaboración de piezas para el mecanismo de volantes de transmisión de movimiento
Fresadora	Perforación de coraza

Materiales- Herramientas	Descripción
Amoladora	Perforación de coraza
Soldadora	Soldadura de la estructura del prototipo
Taladro de banco	Perforaciones en las bases del prototipo
Electrodos 6011	Soldadura de la estructura
Tubo cuadrado de 2 pulgadas	Estructura base de prototipo
Platina de 2 pulgadas	Bases de sujeción
Pernos, tuercas, arandelas planas y de presión	Sujeción de grupo motor
Volantes de mando	Volantes para iniciar el giro de cada motor
Cadena y piñones	Transmisión de movimiento
Accesorios	Detallado del prototipo

CONCLUSIONES

- Se analizó el funcionamiento eléctrico y mecánico en los modos de operación en el sistema transeje del vehículo híbrido Toyota Lexus.
- Se buscó información confiable en bases digitales y escritas referentes al tema en mención que permitan sustentar la investigación.
- Se desarrolló procesos de montaje, desmontaje y verificación del funcionamiento del sistema transeje.
- Se realizó el análisis de la configuración mecánica del sistema transeje en cada uno de los modos de operación.
- Se realizó el análisis eléctrico de operación de los motores generadores en cada uno de los modos de operación.
- Se definió los modos de operación del sistema transeje del vehículo híbrido bajo diferentes condiciones de funcionamiento.
- Se utilizó un software especializado para simular los modos de operación mecánico y eléctrico del sistema transeje de los vehículos híbridos.

RECOMENDACIONES.

- Antes de operar el modulo se sugiere realizar el proceso de desmontaje del sistema transeje y así reconocer cada uno de los elementos que lo conforma.
- Para un mejor entendimiento de funcionamiento, se sugiere realizar el ensamblaje del sistema en software.
- En la manipulación del módulo didáctico se debe considerar proporcionar bajas revoluciones para poder observar y entender los diferentes modos de funcionamiento del sistema transeje.
- El módulo didáctico puede ser utilizar para la enseñanza de funcionamiento del sistema de transmisión en los vehículos híbridos.
- Después de operar el modulo, cubrir el mismo para evitar que el equipo se trabe por impurezas.
- Al realizar el proceso de desmontaje y montaje del sistema transeje, se debe realizar una breve lubricación de los elementos para evitar daños como corrosión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J. (2013). Estudio del sistema híbrido, diseño, construcción e implementación de un modelo de conexión de fuerzas propulsoras de transmisión por medio de engranajes planetarios. Quito.
- ACSUSA. (19 de Mayo de 2015). ucsusa.org. Recuperado el 01 de marzo del 2020, de <http://blog.ucsusa.org/>
- Alfaro, D. (17 de Enero de 2017). Conuee:Comisión nacional para el uso eficiente de la energía. Obtenido el 25 de marzo del 2020 de Conuee: Comisión nacional para el uso eficiente de la energía.: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187220/vehiculohibrido_1_260117.pdf
- Alvarez, J. L. (Septiembre de 14 de 2019). tuteurica.com. Obtenido el 29 del marzo de 2020 de tuteurica.com: <https://www.tuteurica.com/material-complementario/mecanica-del-vehiculo/Motor-hibrido>
- Atom, C. (20 de Mayo de 2012). Autos Híbridos. Obtenido el 02 de abril del 2020 de Autos Híbridos: <http://autoshibridos-tarea.blogspot.com/2012/05/configuraciones-de-los-autos-hibridos.html>
- Augeri, F. (6 de Agosto de 2010). Microsoft Word - Manual completo Híbridos I .doc. Obtenido de Microsoft Word - Manual completo Híbridos I .doc: <file:///C:/Users/USUARIO/Desktop/Downloads/introduccion%20al%20funcionamiento%20y%20diagnostico%20de%20vehiculos%20hibridos.pdf>

Augeri, F. (23 de Junio de 2015). Obtenido 14 de abril del 2020 de <http://www.cise.com/portal/component/k2/item/759-curso-online-diagn%C3%B3stico-por-im%C3%A1genes-en-electr%C3%B3nica-automotriz.html>

Augeri, F., & López, D. (2013). Obtenido de file:///C:/Users/USER/Desktop/Downloads/R-ESPEL-DEM-0002.pdf

Bahmachari, R. (2012). Indo - Academia Alemana de Invierno 2011. Obtenido el 11 de junio del 2020 de <https://www.coursehero.com/file/44199763/rapport074pdf/>

Barbadillo, F. (2011). Tecnomovil: Formación y asistencia. Obtenido el 21 de marzo del 2020 de Tecnomovil: Formación y asistencia: <http://fbelectronica.com/Formacion-1/Curso-hibridos.htm>

Blogspot. (12 de Septiembre de 2009). TodoProductividad. Obtenido 03 de junio del 2020 de <http://todoproductividad.blogspot.com/2009/09/hablamos-de-vehiculos-hibridospero.html>

CAÑARTE, C. (2016). "estudio de las curvas características de motor del VEHICULO". Guayaquil.

CARBO, M. (s.f.).

Cas, A. (14 de Noviembre de 2011). SlideShare. Obtenido el 14 de abril del 2020 de <https://es.slideshare.net/ArturoCas/autos-hbridos-10158052>

Casaravilla, D. I. (2012). Informe final_Autos H y E_20121130 (1).pdf. Obtenido 08 de julio del 2020 de [https://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2012/CVOEGSSECTCPZCTHBFCH/Informe%20final_Autos%20H%20y%20E_20121130%20\(1\).pdf](https://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2012/CVOEGSSECTCPZCTHBFCH/Informe%20final_Autos%20H%20y%20E_20121130%20(1).pdf)

Casaravilla, G., Vignolo, M., & Oroño, D. (30 de Noviembre de 2012). Hacia un Transporte automotor racional y eficiente: autos híbridos y eléctricos . Obtenido el 17 de abril del

- 2020 de hacia un transporte automotor racional y eficiente: autos híbridos y eléctricos :
[https://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2012/CVOEGSSECTCPZCTHBFCH/Informe%20final_Autos%20H%20y%20E_20121130%20\(1\).pdf](https://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2012/CVOEGSSECTCPZCTHBFCH/Informe%20final_Autos%20H%20y%20E_20121130%20(1).pdf)
- CONUEE. (s.f.). Vehículo híbrido. Obtenido 16 de abril del 2020 de vehículo híbrido:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187220/vehiculohibrido_1_260117.pdf
- Costa, J. (8 de Octubre de 2010). Motor Pasión. Obtenido el 09 de marzo del 2020 de
<https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/como-funciona-un-coche-hibrido>
- Denton, T. (2016). Sistema Macánico y Eléctrico de Automóvil. Spain: MARCOCOMBO, S.A.
- Erazo, G. (2018). Tablas del modo de operación en los diferentes modos tanto de la maqueta del tren de impulsión que es en madera y plástico. Latacunga.
- Espinoza, J., & Villacis, J. (2019). Investigación de los parámetros de funcionamiento del sistema inversor para vehiculos hibridos a traves de la construccion de un módulo didactico. obtenido de investigación de los parámetros de funcionamiento del sistema inversor para vehiculos hibridos a traves de la construccion de un módulo didactico:
<file:///E:/tesis%20para%20marco%20teorico/9%20MODOS%20DE%20OPERACION%20OPAG%20100.pdf>
- Herrero, A. (16 de Enero de 2012). km77. Obtenido el 27 de abril del 2020 de km77:
<https://www.km77.com/coches/toyota/prius/2009/5-puertas/informacion>
- Lobato, J. (18 de Diciembre de 2016). slideshare. Obtenido el 23 de abril 2020 de
<https://www.slideshare.net/jhonathanlobato/funcionamiento-de-los-vehculos-hibridos>
- Martínez, J. (2014). Autos_Hibridos.pdf. Obtenido el 22 de marzo del 2020 de
http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/Autos_Hibridos.pdf

- Martínez, J. (2014). Autos_Hibridos.pdf. Obtenido 06 de julio del 2020 de Autos_Hibridos.pdf:
http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/Autos_Hibridos.pdf
- Martínez, J. (2014). JeuAzarru.com. Obtenido 19 de abril 2020 de http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/Autos_Hibridos.pdf
- Meganés, D. (17 de Enero de 2014). Aficionados por la Mecánica. Obtenido 03 de julio del 2020 de <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos.htm>
- Mehrdad, Y. G. (2012). Modern Electric Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles. New York: Crc Press.
- Moyano, A., & Pantoja, D. (2019). Obtenido el 21 de junio del 2020 de <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/20724/1/T-ESPEL-MAI-0664.pdf>
- Ojeda, G. (14 de Junio de 2018). NITRO.PE. Obtenido el 10 de junio del 2020 de NITRO.PE:
<https://www.nitro.pe/mecanico-nitro/funcionamiento-de-un-vehiculo-hibrido.html>
- Pellicer, E. L. (1997). Automóviles Eléctricos. Zaragoza: INO Reproducciones, S.A.
- Peña, L. (24 de Enero de 2011). Blogger. Obtenido 29 de abril del 2020 de <http://automotores19.blogspot.com/search/label/LIGIA%20RUTH%20PE%C3%91A>
- Pérez, M. (20 de Septiembre de 2014). Blogthinkbig.com. Obtenido el 19 de junio del 2020 de <https://blogthinkbig.com/funcionamiento-del-motor-hibrido>
- Pérez, M. (20 de Septiembre de 2014). Blogthinkbig.com. Obtenido el 18 de junio 2020 de <https://blogthinkbig.com/funcionamiento-del-motor-hibrido>
- Pozo Guzmán Rubén Dario, Y. G. (31 de Mayo de 2013). Obtenido el 11 de marzo del 2020 de Universidad Técnica del norte: <https://docplayer.es/70531401-Universidad-tecnica-del-norte.html>

- Rebelo, S. (15 de Febrero de 2018). Investigación de la influencia de la ecualización de packs para prolongar la vida útil de la batería de alta tensión HV del vehículo híbrido Toyota Prius tercera generación. Obtenido el 14 de abril del 2020 de Investigación de la influencia de la ecualización de packs para prolongar la vida útil de la batería de alta tensión HV del vehículo híbrido Toyota Prius tercera generación.: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/browse?type=author&value=Rebelo+Carrillo%2C+Sebastian+Santiago>
- Robles, M. (19 de Abril de 2019). El secreto de los híbridos para hacerlos más eficientes. Obtenido el 07 de marzo del 2020 de El secreto de los híbridos para hacerlos más eficientes: <https://www.atraccion360.com/como-funcionan-los-coches-hibridos>
- Rusnák, R. (05 de Mayo de 2006). WIKIMEDIA COMMONS. Obtenido el 27 de marzo del 2020 de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:T_cycle_AtkinsonMiller.png
- s.a. (2 de Marzo de 2009). Priuschat. Obtenido el 13 de julio del 2020 de Priuschat: <https://priuschat.com/threads/picture-of-2010-prius-transaxle-compared-with-others.59027/>
- s.a. (2010). Toyota Motor Corporation. Obtenido el 19 de julio del 2020 de <https://www.toyota.com/owners/resources/warranty-owners-manuals/highlander-hv/2010>
- s.a. (s.f.). Instituto científico del Pacífico. Obtenido el 26 de abril del 2020 de Instituto científico del Pacífico: <https://icip.edu.pe/curso-solidworks>
- s.a. (s.f.). SOLID-BI. Obtenido de SOLID-BI: <https://solid-bi.es/solidworks/>
- Serrano, T. (2015). Análisis sobre la implantación del sistema de recuperación de energía Kers, en un vehículo convencional mediante simulación. Madrid.

Suntaxi Suntaxi, V. G., & Haro Delgado, R. A. (2010). Diseño y construcción de un prototipo didáctico del sistema de transmisión de un vehículo híbrido. Latacunga.

Suntaxi, V. (2010). Diseño y construcción de un prototipo didáctico del sistema de transmisión de un vehículo híbrido . obtenido de diseño y construcción de un prototipo didáctico del sistema de transmisión de un vehículo híbrido .

Suntaxi, V., & Haro, R. (Octubre de 2010). Diseño y construcción de un prototipo didáctico del sistema de transmisión de un vehículo híbrido. Obtenido el 21 de junio del 2020 de Diseño y construcción de un prototipo didáctico del sistema de transmisión de un vehículo híbrido: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/2868?locale-attribute=en>

Taco, J. (18 de Diciembre de 2016). slideshare. Obtenido el 20 de julio del 2020 de <https://www.slideshare.net/jhonathanlobato/funcionamiento-de-los-vehiculos-hibridos>

Vivas, J. (17 de Junio de 2020). NITRO.PE. Obtenido el 29 de marzo del 2020 de <https://www.nitro.pe/mecanico-nitro/funcionamiento-de-un-vehiculo-hibrido.html>

ANEXOS