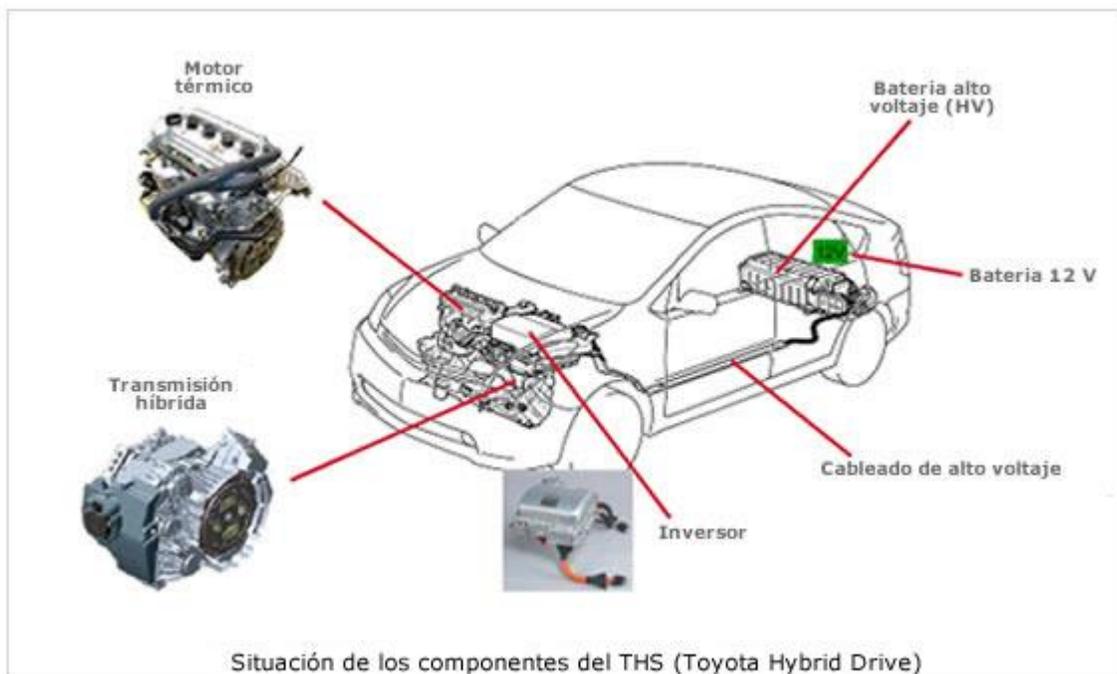


Toyota Prius Híbrido

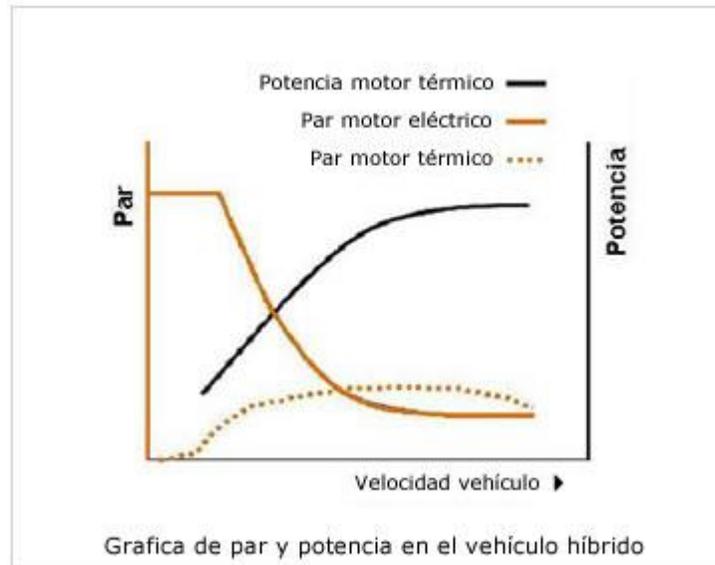
El Toyota Prius es el híbrido más demandado entre los compradores de este tipo de vehículos. Funciona con gasolina pero gasta menos que un Diesel (4,3 L/100 km) y es el modelo que emite menos CO₂ del mercado, con sólo 104 gr/km; un 30% menos que el resto de turismos. Su secreto es la tecnología Hybrid Sinergy Drive (HSD), desarrollada por Toyota, y que combina un motor térmico con otro eléctrico alimentado por unas baterías que se recarga con la fuerza de las frenadas. Lo que inicialmente parece una idea tan sencilla como brillante, resulta, a la postre, técnicamente muy compleja, y con en reto añadido de que todos los componentes extra que precisa una mecánica semejante deben ocupar el mismo espacio que habitualmente precisa el motor de un automóvil convencional.



El Toyota Prius a evolucionado con los años montando una nueva versión (THS II) que ha mejorado la primera versión THS (Toyota Hybrid System)..

PASADO Y PRESENTE	
Toyota Hybrid System (THS)	THS II
	
1997	2003
El primer híbrido de producción en masa	Resultado: Coste: -70%

Para el funcionamiento del Prius se dispone de dos motores; por una parte, tenemos un motor de gasolina de 1,5 litros, con 78 CV de potencia máxima a 5.000 rpm. Por otra, se apoya en un motor eléctrico, con una potencia máxima equivalente a 68 CV (50 kW), con lo cual, cuando los dos trabajan al unísono, se logra una potencia total de unos 111 CV. El par máximo es impresionante, alrededor de 400 Nm., desde el motor parado y hasta las 1.200 revoluciones.



Con todo ello los consumos de combustible anunciados por Toyota son de 4,3 litros a los 100 kilómetros en ciclo combinado, 4,2 litros cada 100 kilómetros en carretera y 5 litros cada 100 kilómetros en ciudad.

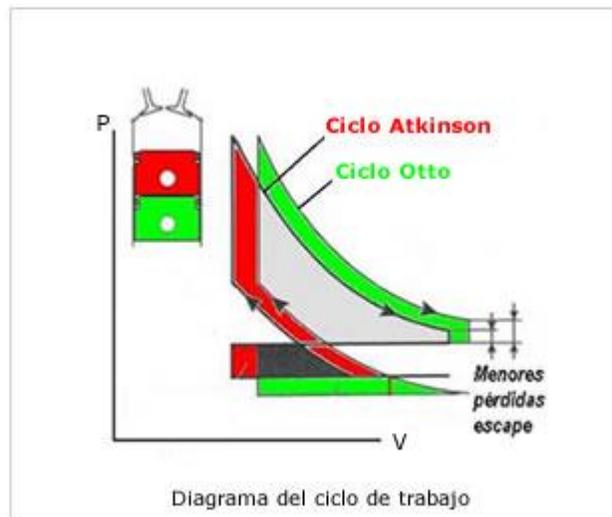


Motor

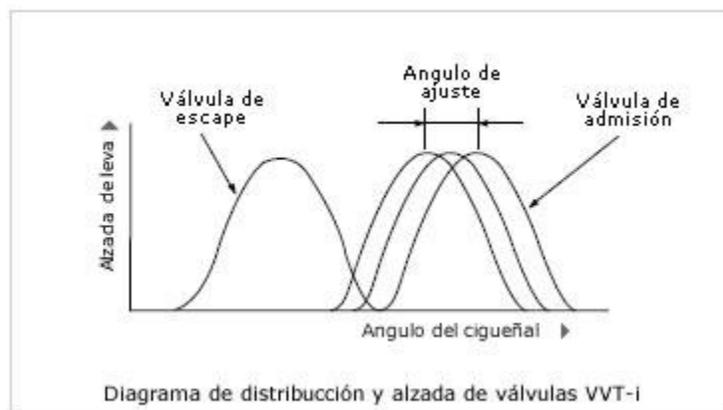
El motor térmico funciona según el llamado "ciclo Atkinson", ideado por el ingeniero inglés James Atkinson (1887), y que se diferencia ligeramente del tradicional motor de "ciclo Otto" de cuatro tiempos. Bien es sabido que el rendimiento termodinámico de cualquier motor de combustión interna se ve favorecido por un alto valor de la relación de compresión, que a su vez tiene el inconveniente de la tendencia que posee la gasolina a producir detonación para altas relaciones de compresión.

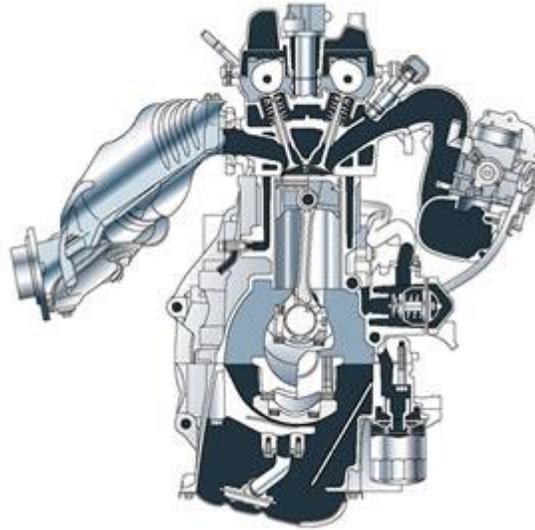
El ciclo Atkinson trata de aprovechar las ventajas que supone una alta relación de compresión reduciendo la duración efectiva de la carrera de compresión con respecto a la de expansión del tradicional ciclo Otto. La forma más viable y sencilla de conseguir esto es retrasar el cierre de la válvula de admisión, permitiendo un cierto reflujo de gases hacia el colector de admisión mientras el pistón asciende. Esa mezcla se aprovecha en el siguiente ciclo de aspiración.

El cierre de la válvula determina la cantidad de gases que permanecen en el interior del cilindro y el comienzo de la compresión. La menor cantidad de mezcla retenida se traduce en unas menores prestaciones, pero autoriza a usar relaciones de compresión altas (13:1 en el Toyota Prius) sin que se produzca detonación, lo que permite un mayor aprovechamiento de la energía liberada en la combustión durante la carrera de expansión. Este ciclo ha sido en ocasiones denominado como «de cinco tiempos»: admisión, reflujo de gases, compresión, expansión y escape.



El motor Toyota que lleva el Prius tiene distribución variable de tipo VVT-i. Puede cerrar la válvula de admisión entre 78° y 105° después del punto muerto inferior. Es decir, en función de las condiciones de funcionamiento, es posible que no cierre las válvulas de admisión hasta después de llevar media carrera ascendente. La relación de compresión real nunca es más de 9:1, mientras que la relación de expansión es 13:1.



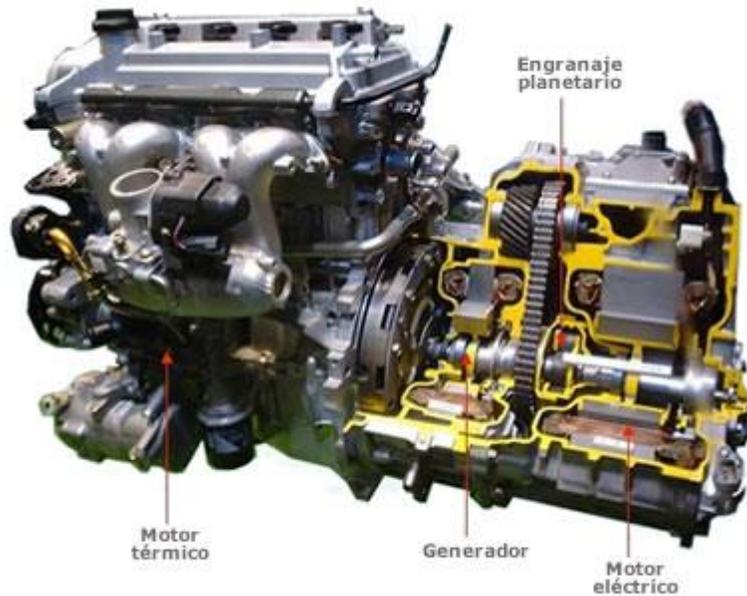


El funcionamiento de este vehículo dispone que el "motor eléctrico" es el que actúa a bajas velocidades y cuando no se exige un rendimiento mecánico elevado. El "motor de gasolina", en cambio, entra en funcionamiento cuando se aumenta la velocidad o se solicita más potencia. Este proceso se realiza de forma completamente automática y sin que el conductor note apenas el trabajo de uno u otro, a pesar de que el monitor de energía, situado en la pantalla multifunción de la consola central, informa a los ocupantes de los tránsitos de energía térmica y eléctrica, el estado de carga de la batería y la recuperación de energía cinética. Ésta última es precisamente una de las grandes ventajas de este coche, que no necesita alimentación externa –su batería no precisa ser recargada–, ya que la fuerza de las frenadas y el funcionamiento del motor de explosión ya recargan la batería de ion-litio, la más sofisticada y potente del mundo en su género. Gracias a esta inteligente combinación, el Prius logra un consumo medio homologado de combustible de 4,3 litros a los 100 km, todo un récord para un coche “de gasolina”.

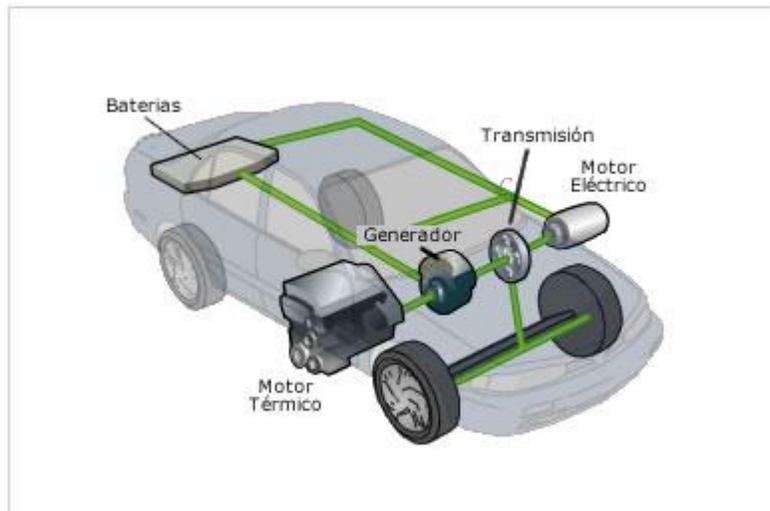


El Prius tiene un motor eléctrico permanentemente engranado al diferencial de la transmisión, sin ningún tipo de embrague. Es decir, el motor eléctrico y las ruedas son siempre solidarios. El funcionamiento del motor eléctrico es posible durante unos pocos km y por debajo de 50 km por hora y esto suponiendo que la batería este a plena carga, porque sino la autonomía sería mucho menor..

Para mover a las ruedas, el motor eléctrico puede estar impulsado eléctricamente (por una batería, un generador o ambas cosas a la vez) o mecánicamente (por un motor de gasolina). El motor térmico nunca mueve directamente a las ruedas; su fuerza se aprovecha para mover a un generador eléctrico o para mover mecánicamente al motor eléctrico.



Con la electricidad que produce el generador eléctrico cuando lo impulsa el motor de gasolina se puede: mover al motor eléctrico, almacenar energía en la batería o ambas cosas al mismo tiempo.



La batería sirve como fuente de electricidad para todo el coche. Obtiene la energía por dos medios: uno, del motor térmico, a través del generador. Dos, del motor eléctrico cuando éste no impulsa al coche (en ese caso, el motor eléctrico se convierte en otro generador).

En la imagen siguiente, que simula una aceleración y una deceleración del coche, se pueden apreciar todos los procesos citados.



El sistema está controlado por una centralita que distribuye la fuerza de cada elemento, de acuerdo con la fuerza que sea necesaria en cada momento y con el nivel de carga de la batería.

En la siguiente imagen se puede ver un ejemplo de funcionamiento. En las demás imágenes se ve una ilustración del flujo de fuerza en cada caso, junto con el esquema que puede aparecer en el monitor del coche.



Puesta en marcha

El coche comienza a moverse sólo con el motor eléctrico y la energía de la batería





Conducción normal

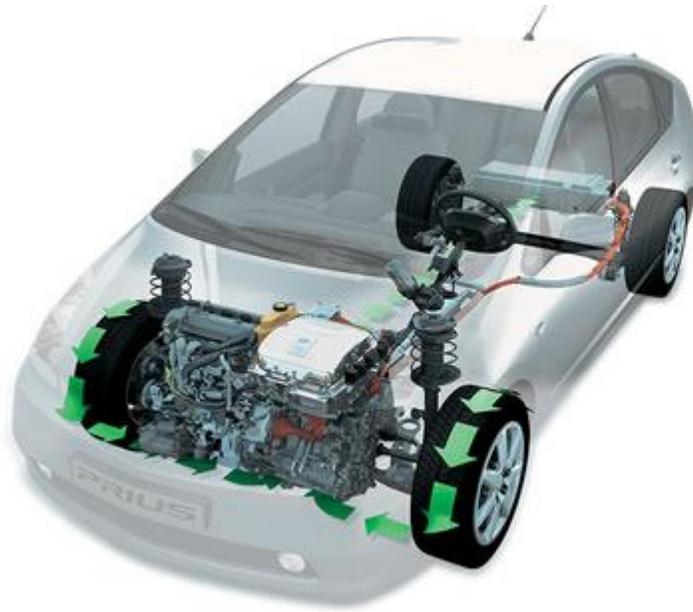
Cuando alcanza una velocidad constante, la fuerza que da el motor térmico bien se divide entre el generador y el motor eléctrico, o bien se utiliza para mover mecánicamente al motor eléctrico. La corriente que da el generador en este caso puede ir a la batería o al motor eléctrico.



Aceleración fuerte

Cuando el conductor acelera fuerte (para acelerar mucho o para subir una rampa), el motor eléctrico alimentado por la batería ayuda al motor térmico. Esto es sólo posible mientras la carga de la batería no baje de un cierto límite.





Desaceleración

Si el conductor deja de pisar el acelerador, el motor térmico se para y el motor eléctrico se convierte en un generador. De esa forma, el consumo de combustible es nulo y —a través del motor eléctrico en función de generador— se transforma en electricidad parte de la energía cinética que se transmite a través de las ruedas.



Parada

Cuando el coche queda completamente detenido, el motor se para. Sólo se pone en marcha con el coche parado si es preciso alimentar a la batería porque ha bajado de su límite de carga

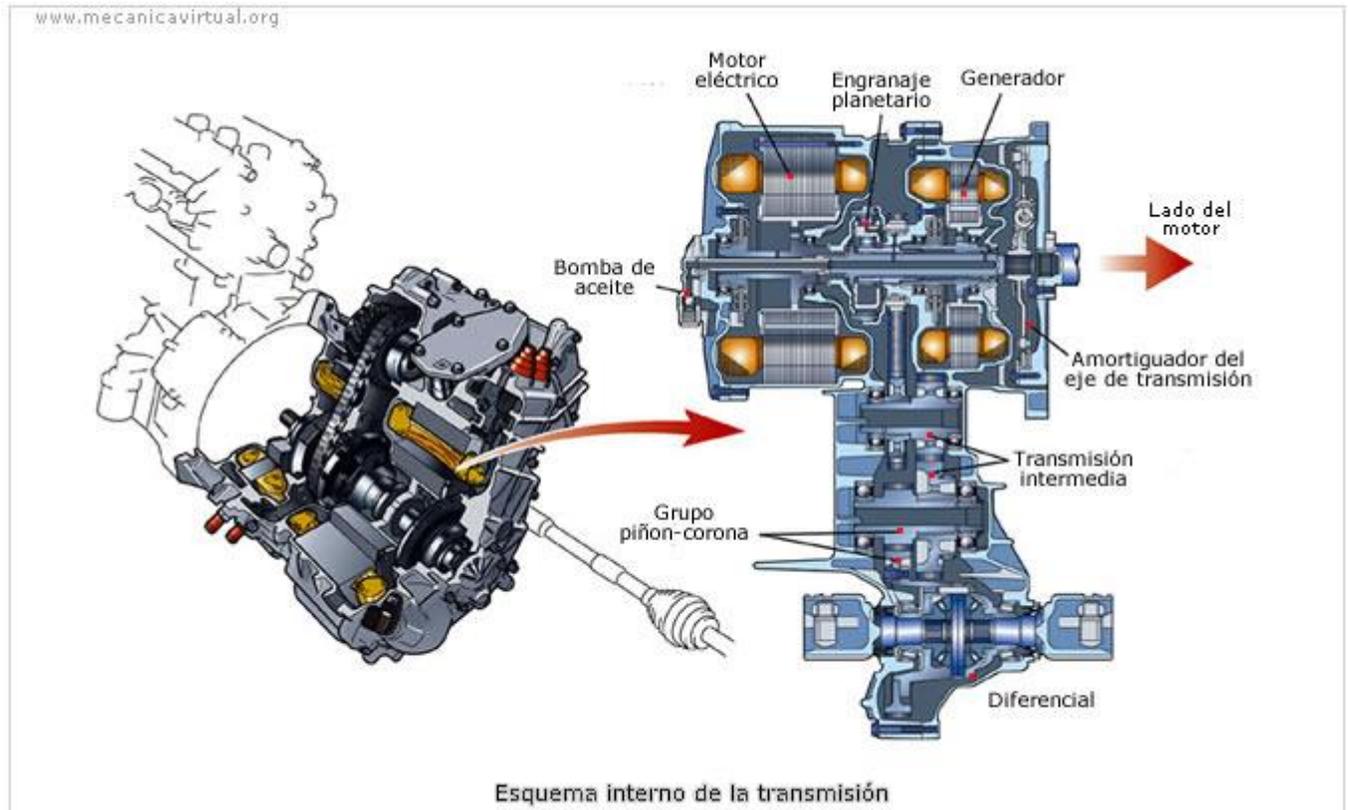


Si el conductor selecciona la función de máxima retención con el mando del cambio, el motor térmico gira sin alimentación de combustible (es decir, se convierte en una bomba de aire). En esa posición del cambio, además, la retención que da el motor eléctrico convertido en generador también es mayor.

Hay un botón que anula completamente el motor térmico, si la batería no baja de una cierta carga y si el conductor no solicita demasiada fuerza del sistema (una aceleración fuerte, un rampa pronunciada o una velocidad superior a unos 50 km/h). Esta función puede ser útil para salir circular por espacios cerrados (como aparcamientos), sin que el coche contamine ni haga ruido.

Transmisión

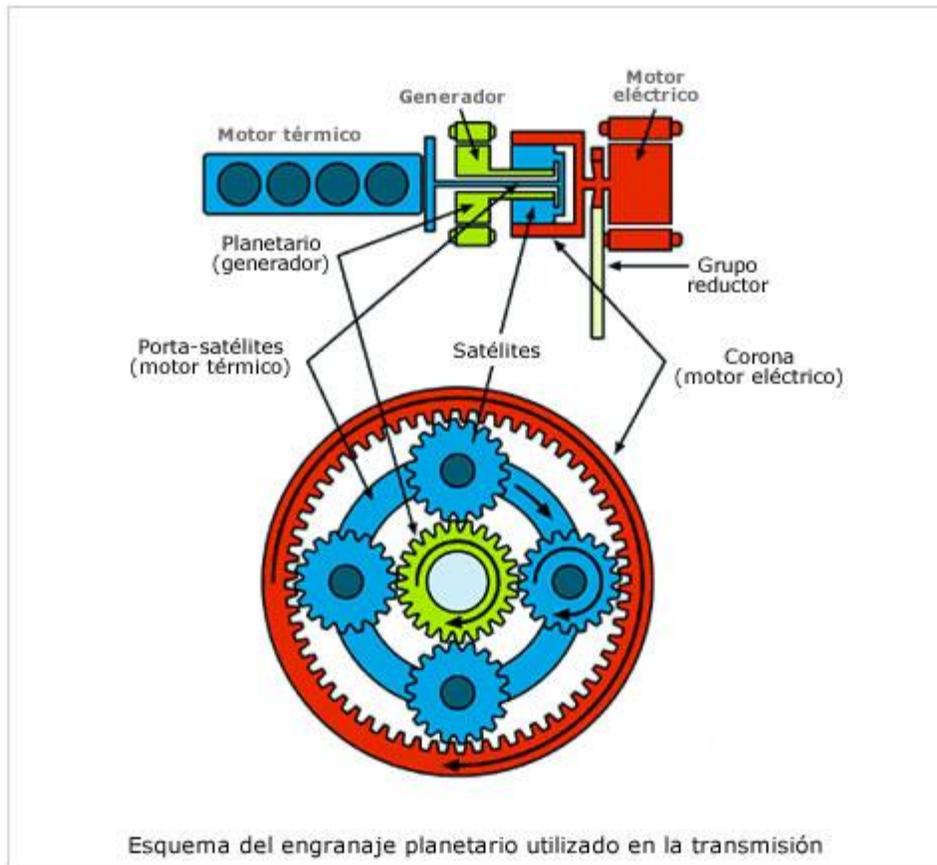
Toyota denomina a la transmisión utilizada en el Prius como "Power Split Device". Esta transmisión no tiene una caja de cambios convencional con distintos engranajes, ni una caja automática de variador continuo con correa. Este vehículo dispone de un engranaje planetario para transmitir el movimiento a las ruedas. No tener una caja de cambio normal aporta ventajas notables y especialmente necesarias en un coche como éste: menos peso, más espacio y menos pérdidas por rozamiento.



Dado que el motor funciona siempre casi a plena carga y con un margen de revoluciones no muy amplio, hacía falta algo para que (en esas condiciones) valiera igual para arrancar en marcha lenta y para ir a gran velocidad. Ese algo es el engranaje planetario, que tiene tres elementos: un «planeta» o engranaje central; unos «satélites» que giran alrededor de él; y una «corona» con un dentado interior a la cual también están engranados los satélites.

El engranaje planetario utilizado en esta transmisión une cada uno de sus componentes (figura inferior):

- Engranaje central o "planetario" está unido al generador eléctrico.
- El portasatélites está unido al motor térmico.
- La corona esta unida al motor eléctrico.

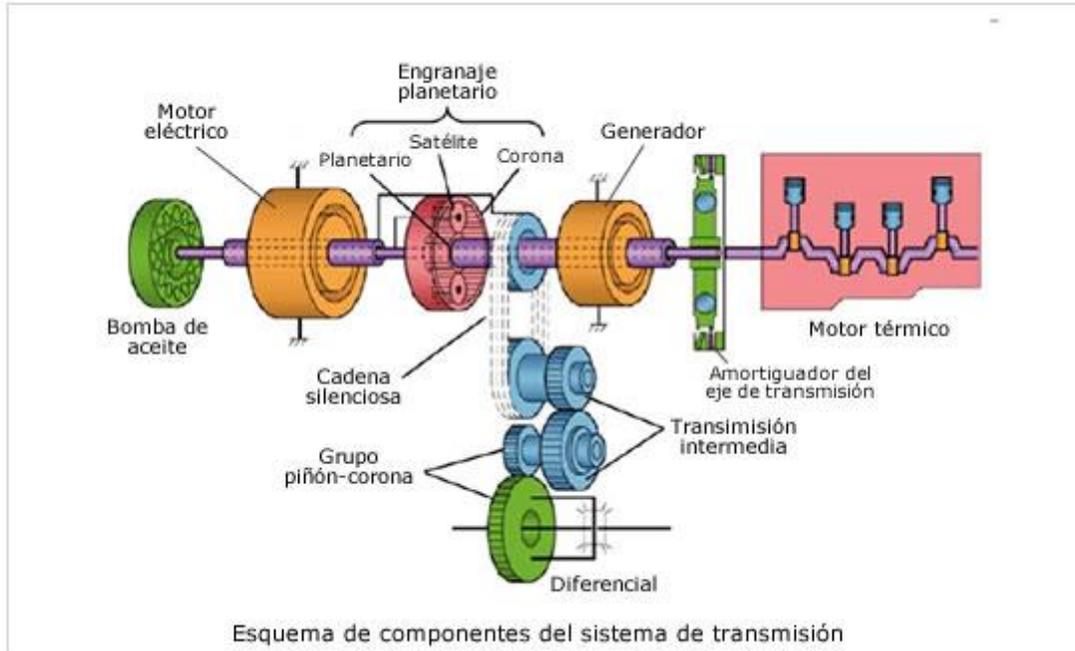


A uno de estos elementos está engranado el motor térmico, al otro un generador eléctrico y el otro es solidario con las ruedas del coche. La clave del sistema es que el giro del generador eléctrico puede ser mayor o menor, en función de la resistencia que oponga. Si es preciso un desarrollo corto, el generador eléctrico opone una gran resistencia al movimiento. A consecuencia de ello «roba» fuerza al motor térmico y la envía al motor eléctrico, que también impulsa a las ruedas. La fuerza que va a parar al motor es finalmente la misma, si no entran en juego las baterías. Pero, mediante este método, el engranaje epicicloidal tiene el desarrollo corto que hace falta (por ejemplo para arrancar) y largo para alcanzar una velocidad alta, a igualdad de régimen del motor.

A medida que el coche gana velocidad, el generador eléctrico opone menos resistencia y su giro aumenta. A causa de ello, el desarrollo se hace más largo. Si las baterías no intervienen en la aceleración, toda la fuerza de la que dispone el coche parte del motor térmico. Pero puede llegar a las ruedas bien a través del motor eléctrico, alimentado por el generador, o bien directamente a través del motor térmico, si el generador no actúa.

La corona del engranaje planetario está solidariamente unida a las ruedas delanteras del coche, a través de un diferencial con grupo 4,113 a 1. Esa relación de 4,113 a 1 da un desarrollo de 27,6 km/h cada 1.000 r.p.m. del motor eléctrico. Si el coche puede salir desde parado con una marcha tan «larga», es porque —hasta unos 25 km/h— el par que puede generar el sistema de propulsión es unos 480 Nm. Como en cualquier otro coche, la transmisión multiplica ese par (en este caso por 4,113).

Por razones de espacio, la transmisión de par entre la corona y el diferencial se hace mediante una cadena de transmisión y dos pares de engranajes (figura inferior).



Siempre que el coche está en movimiento, la corona del engranaje planetario también se mueve. La fuerza para moverse proviene del motor eléctrico directamente o del empuje que le da el motor térmico. Cuanto más lenta es la velocidad del coche, tanto mayor fuerza proviene del motor eléctrico. Cerca de la velocidad máxima, toda la fuerza proviene del motor térmico.

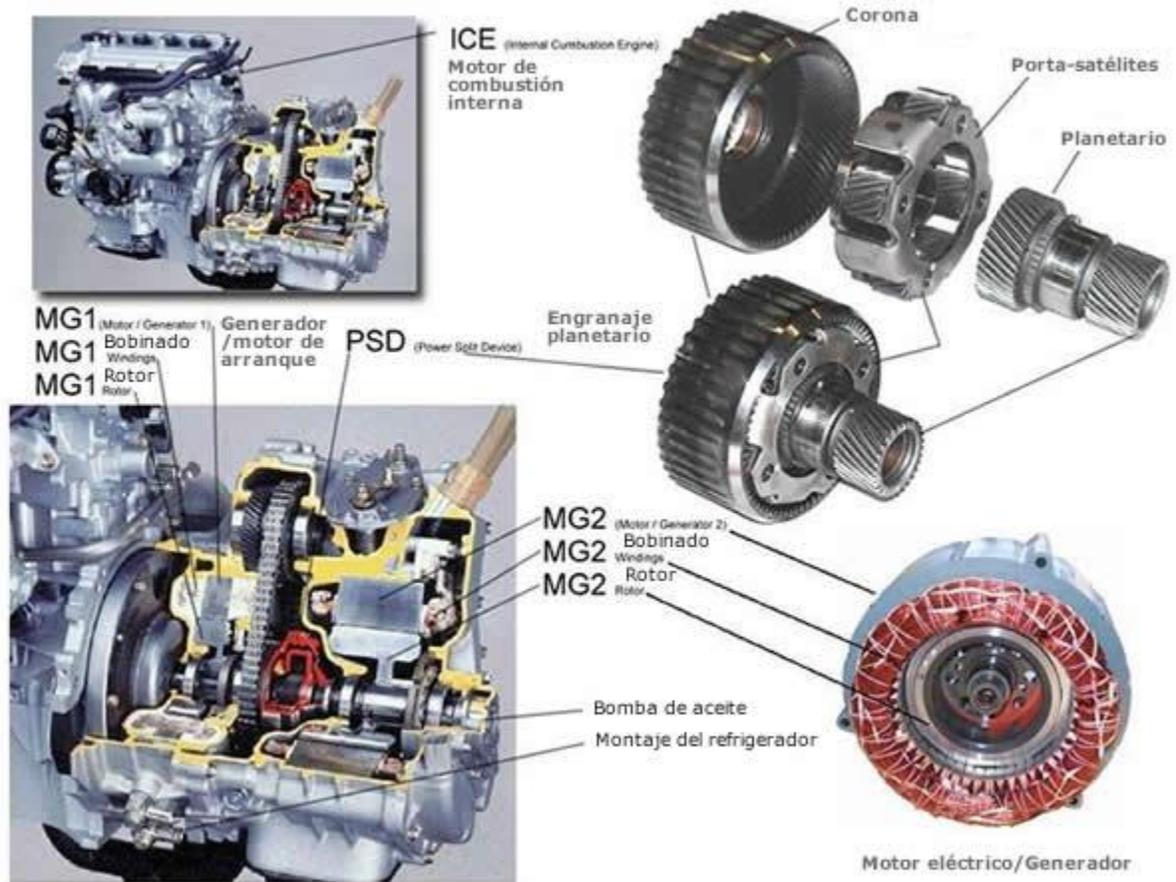
Estos son algunos ejemplos del funcionamiento del sistema:

- El coche se mueve sólo con la energía de la batería. Un régimen del motor eléctrico distinto de cero indica que el coche está en marcha. El motor térmico está parado y el generador funciona en sentido inverso, sin producir corriente.
- El coche está parado y el motor térmico está recargando la batería. Si el coche está parado y la batería llega al límite tolerado de descarga, el motor térmico se pone en marcha. El generador ofrece par resistente y por eso genera una energía que se destina a recargar la batería.
- El coche está avanzado a velocidad constante. En este caso, el coche se está desplazando porque el portasatélites (motor térmico) empuja a la corona (motor eléctrico) mientras que el planeta está detenido (generador). En estas condiciones la propulsión es enteramente mecánica, aunque se realice (también mecánicamente) a través del motor eléctrico.
- El coche acelera fuertemente. Cuando el coche está en marcha y el conductor pisa el acelerador, el generador se pone en marcha. En ese caso, la fuerza con que el motor eléctrico impulsa a las ruedas procede de tres fuentes simultáneamente: una, el motor térmico mueve al generador que —a su vez— alimenta al motor eléctrico. Dos, el motor térmico impulsa mecánicamente al motor eléctrico. Tres, la batería suministra electricidad al motor eléctrico.

Hay otras condiciones de funcionamiento posibles, pero en cualquiera de ellas el principio de funcionamiento es el mismo. La energía que suministra el generador no depende sólo de su giro.

El sistema puede variar o eliminar completamente el par resistente del generador para adecuar la energía que genera a cada condición de funcionamiento.

Esta transmisión no dispone de marcha atrás, de esta función se encarga el motor eléctrico que puede girar en ambos sentidos, por lo tanto la marcha atrás se hará siempre con el motor eléctrico, para esta función no se utiliza el motor térmico.



Batería

La batería del Prius es de níquel e hidruro metálico; la fabrica Panasonic. Proporciona 202 V, tiene 6,5 Ah de capacidad (3 horas), pesa 42 kg y tiene la densidad de energía más alta del mundo entre las baterías de su tamaño.

Esta batería sólo se recarga con el generador, al que impulsa el motor térmico. No tiene ningún tipo de conexión para conectarla a una red o a otro dispositivo de carga.



La batería no tiene «efecto memoria» porque el sistema eléctrico está hecho para que nunca baje de un cierto nivel de carga, mientras el coche está funcionando. Cuando el coche queda parado y desconectado, el proceso de descarga es muy lento. No está prevista su sustitución en el programa de mantenimiento y, como todos los elementos del sistema híbrido, tiene ocho años de garantía.

Está conectada a un elemento que convierte los 202 V de corriente continua en 500 de corriente alterna. Este dispositivo también invierte la corriente eléctrica cuando hay que cargar la batería (bien con el generador, o bien con el motor eléctrico).



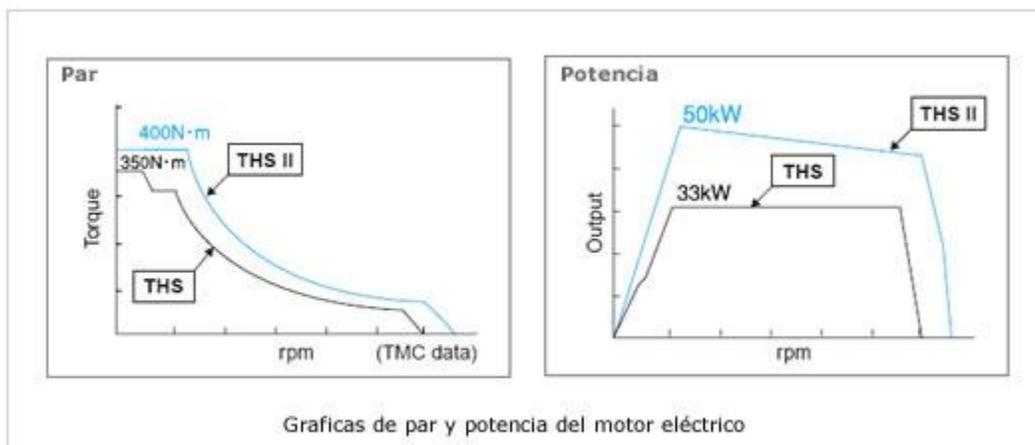


Generador

El generador es el elemento que transforma en electricidad el trabajo del motor térmico; también funciona como motor de arranque del motor térmico. Es de corriente alterna síncrono y —como máximo— gira al doble de régimen que el motor térmico.

Motor Eléctrico

El motor eléctrico lo fabrica Toyota. Es un motor síncrono de imanes permanentes de neodimio. 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.. Pesa 104 kg y —según Toyota— no hay otro motor eléctrico en el mundo (en ningún sector de la industria) que dé más potencia con menos tamaño y peso que éste. 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 r.p.m..



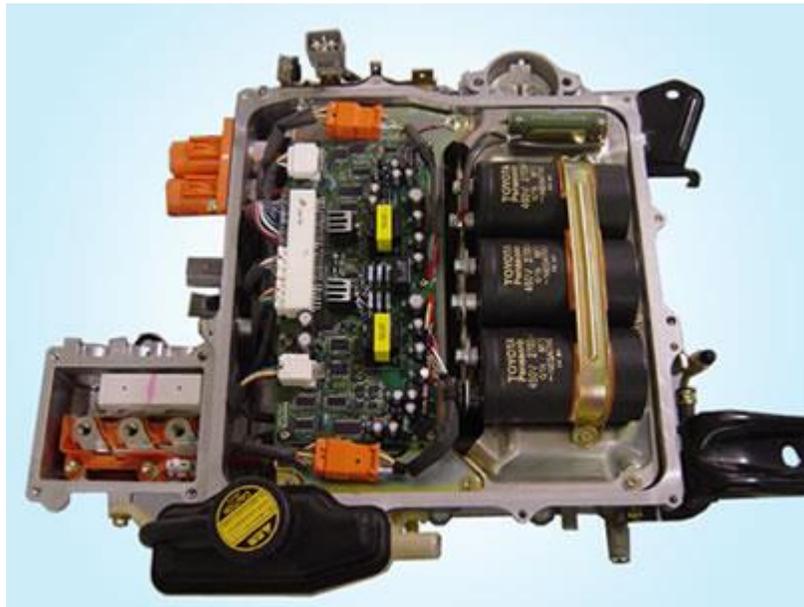
Inversor

Se encarga de transformar y administrar el flujo de electricidad entre la batería y el motor

eléctrico. Además posee un convertidor integrado que envía parte de la electricidad del sistema a la batería auxiliar de 12 V.

El inversor se encarga de las siguientes funciones:

- Convierte los 201,6 V DC (corriente continua) que entrega la batería HV en 201,6 V AC trifásica (corriente alterna). Multiplica estos 201,6 V AC trifásica hasta un máximo de 500 V AC trifásica. al motor y al generador eléctricos del THSD
- Convierte los 201,6 V DC en 201,6 V AC para el compresor eléctrico del aire acondicionado.
- Convierte los 201,6 V DC en 12V DC y 100 A. para recargar la batería de 12V, dada la ausencia de alternador y alimentar a los demás elemento eléctricos del vehículo (luces, audio, ventiladores, etc.).



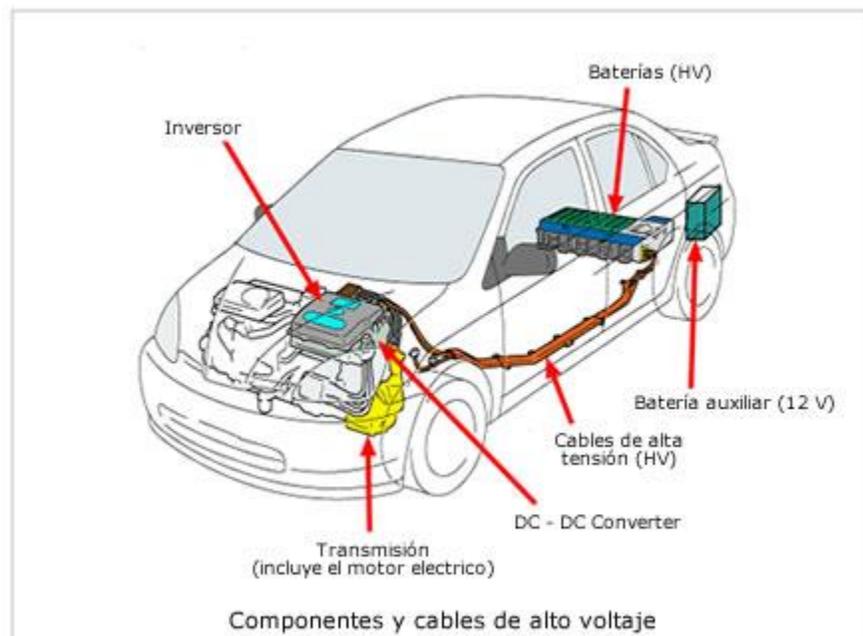
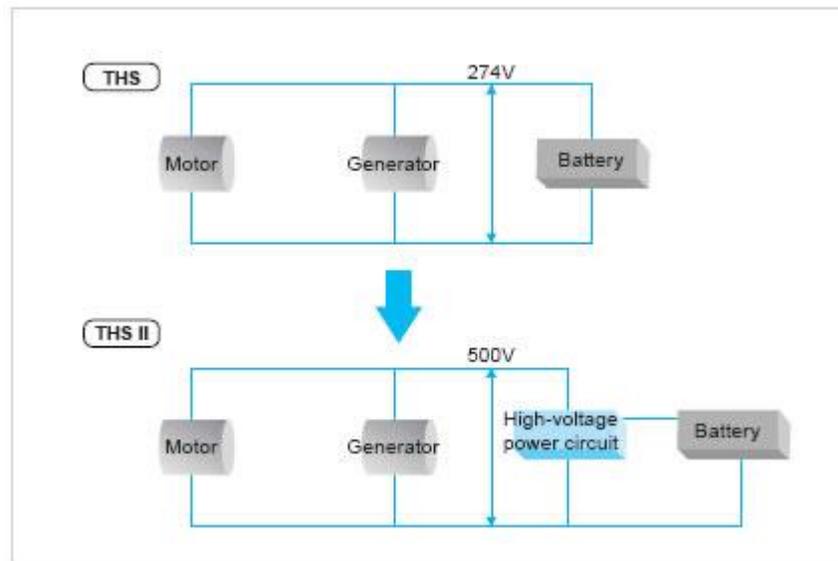
El inversor, el motor eléctrico y el generador son enfriados mediante un sistema refrigeración independiente de la refrigeración del motor térmico. La unidad de control HV es la que se

encarga de controlar la bomba eléctrica de agua. En las versiones del Prius del "04" y posteriores el radiador ha sido simplificado y el espacio que ocupa ha sido minimizado.

Instalación de alta tensión

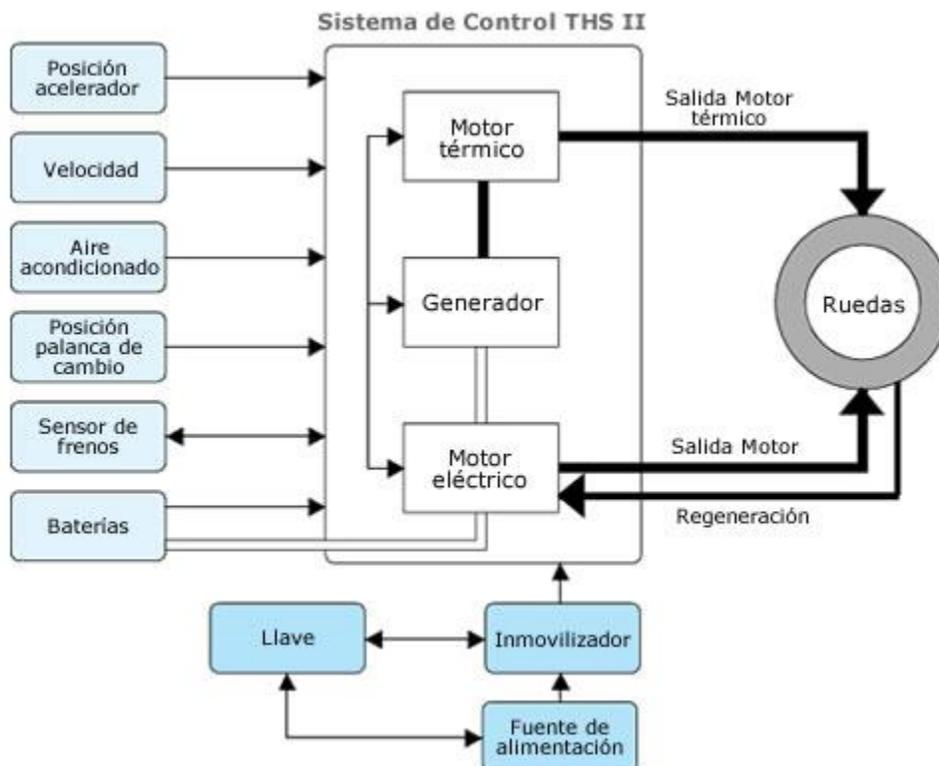
La instalación eléctrica para la propulsión funciona con 500 V, hay otra instalación de 12 V para los demás elementos eléctricos del coche (incluida una toma de corriente para arrancar el motor con una batería normal, si fuera preciso).

Para reducir peso (y precio) la red de cables de alta tensión no es de cobre, sino de aluminio. Hay sensores que cortan instantáneamente la corriente en caso de accidente o de cortocircuito. La tensión de funcionamiento del circuito de alta tensión (HV) varía en función de la evolución del sistema híbrido THS (Toyota Hybrid System)..



Sistema de control

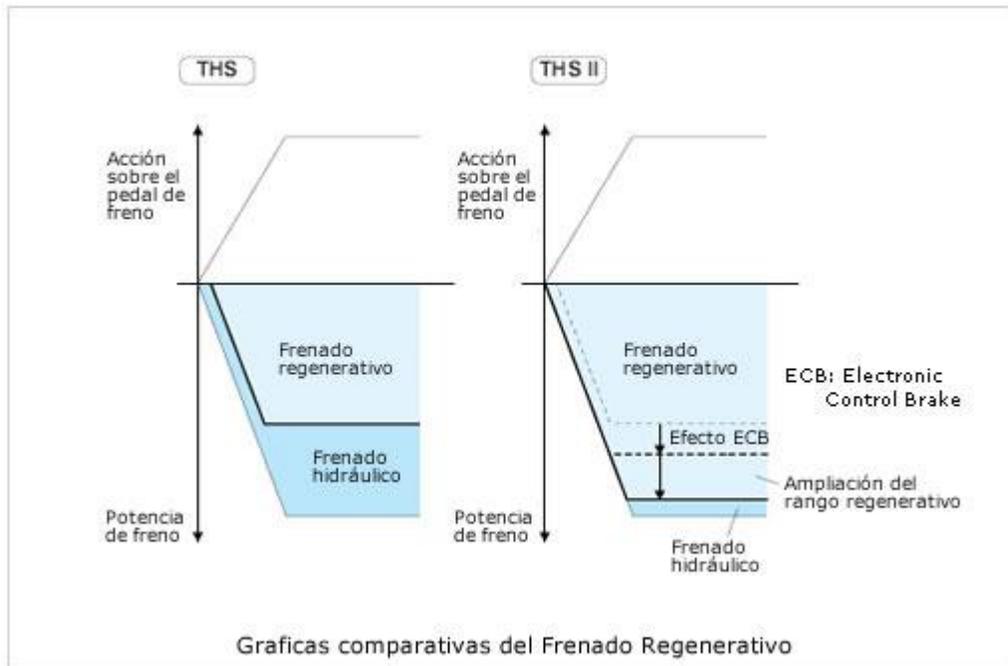
El sistema de control de THS II gestiona el vehículo en su máxima eficiencia controlando la energía usada por el vehículo, lo cual incluye la energía para mover el vehículo así como también la energía usada para dispositivos auxiliares, como el aire acondicionado, los calentadores, los focos delanteros y el sistema de navegación. El control de sistema monitorea los requisitos y las condiciones operativas de componentes del sistema híbrido, como elemento principal, el motor térmico que es la fuente de energía para el vehículo híbrido entero; El generador, que se utiliza como motor de arranque para el motor térmico y además convierte la energía del motor térmico sobrante en electricidad; El motor eléctrico, que mueve el vehículo usando la energía eléctrica de la batería; Y la batería, que almacena la energía eléctrica generada a través de la regeneración de electricidad por el motor eléctrico durante la desaceleración. El sistema de control también tiene en cuenta las informaciones que recibe del sensor de freno, sensor de velocidad, posición del acelerador, así como cuando el conductor actúa sobre la palanca de cambio.



Frenado regenerativo

El sistema de frenado regenerativo funciona cuando queremos disminuir la velocidad del vehículo, utilizando el motor térmico como freno o bien pisando el pedal de freno. En esta situación el motor eléctrico funciona como un generador, convirtiendo la energía cinética del vehículo en energía eléctrica, la cual se usa para cargar las baterías. Este sistema es particularmente efectivo en recobrar energía cuando se circula por ciudad, donde se producen aceleraciones y deceleraciones frecuentes. Cuando se pisa el pedal de freno, el sistema controla la coordinación entre el freno hidráulico del ECB (Electronic Control Braking) y el freno

regenerativo y preferentemente usa el freno regenerativo, por consiguiendo recobrando energía aun en las velocidades inferiores del vehículo. Con este sistema se consigue una regeneración de energía muy eficiente. En la gráfica inferior se ve como se ha mejorado el sistema de frenado regenerativo en el THS II con respecto a la versión inicial (THS).



Las pérdidas por rozamiento en la transmisión son mínimas ya que el movimiento de las ruedas se transmite a través del diferencial y los engranajes intermedios al motor eléctrico que se convierte en este caso en generador. El sistema de frenado regenerativo consigue recuperar un 65% de la energía eléctrica que carga las baterías.

