



Innovación Tecnológica y Desarrollo Empresarial para
Vehículos e Infraestructuras de Tráfico

Vehículos Híbridos

Jesús Casanova Kindelán
Catedrático de Motores Térmicos

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
Universidad Politécnica de Madrid

Contenido

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones

- **Introducción**
- **Condiciones de los sistemas de propulsión**
- **La propulsión híbrida como solución**
- **La tecnología de los vehículos híbridos**
- **Oportunidades de futuro**
- **Conclusiones**





Premisas

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones

- **La movilidad seguirá siendo una necesidad para el desarrollo de los pueblos**
- **El futuro del automóvil está condicionado por su desarrollo sostenible**
- **Las fuentes de energía convencionales tienen un final previsible**



Cuatro ideas iniciales

Introducción

Condiciones
de los sistemas
de propulsión

La propulsión
híbrida como
solución

La tecnología de
los vehículos
híbridos

Oportunidades
de futuro

Conclusiones

- **Híbrido: que combina al menos dos sistemas de propulsión**
- **Propulsión o planta de potencia híbrida es un sistema alternativo para mover los automóviles**
- **Utiliza cualquier combustible**
- **Tienen su origen en los sistemas de propulsión de barcos o locomotoras (diesel – eléctrico) P desacoplamiento motor térmico « transmisión**



Historia de los vehículos de propulsión híbrida

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

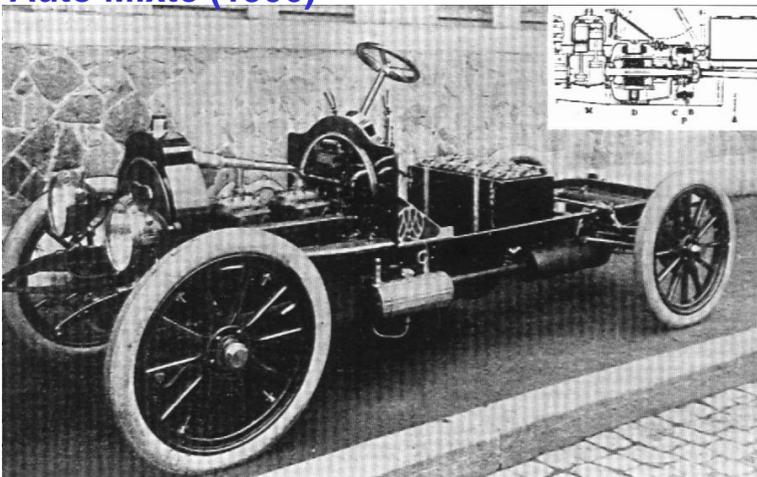
La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

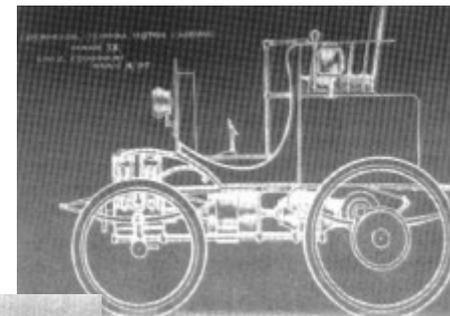
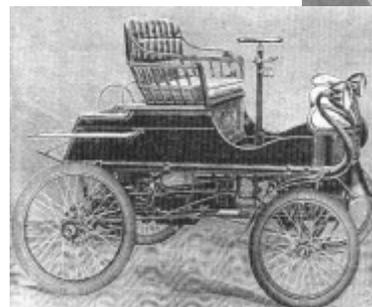
Oportunidades de futuro

Conclusiones

Auto Mixte (1906)



Pieper (1899)



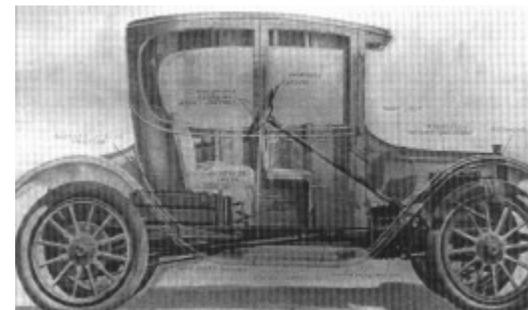
Entz (1897)

Vendovelli (1898)



Jenatzy (1901)

Woods (1917)



Vehículos Híbridos



Problemas de los sistemas de propulsión convencionales

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones

- **Condiciones continuamente cambiantes: transitorios aceleración y deceleración.**
- **Buen rendimiento y bajas emisiones solo en ciertas zonas de trabajo.**
- **Dificultades de adaptación del sistema de transmisión de potencia motor – rueda a todas las condiciones posibles**
- **Motor dimensionado para máxima potencia, utilización normal en baja potencia.**



Estrategias para el futuro

- **Reducir el impacto ambiental:**
 - **Reducir emisiones en tráfico urbano. Nuevos conceptos de vehículos de bajas emisiones**
 - **Reducir consumo de carburante para bajar las emisiones de CO₂ y dependencia de combustibles fósiles.**
 - **Diversificar fuentes de energía**
 - **Reducir ruido**
- **Mejorar la conductibilidad del vehículo: suavidad en arranque y parada**
- **Reducir peso y tamaño de los vehículos**

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones



Qué quiere el usuario

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones

Una adecuada combinación de:

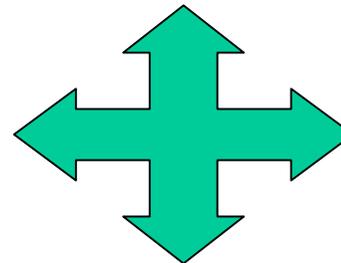
Conductibilidad



Eficiencia



Medio Ambiente



Seguridad



Vehículos Híbridos



Estrategias de reducción de impacto ambiental

Introducción

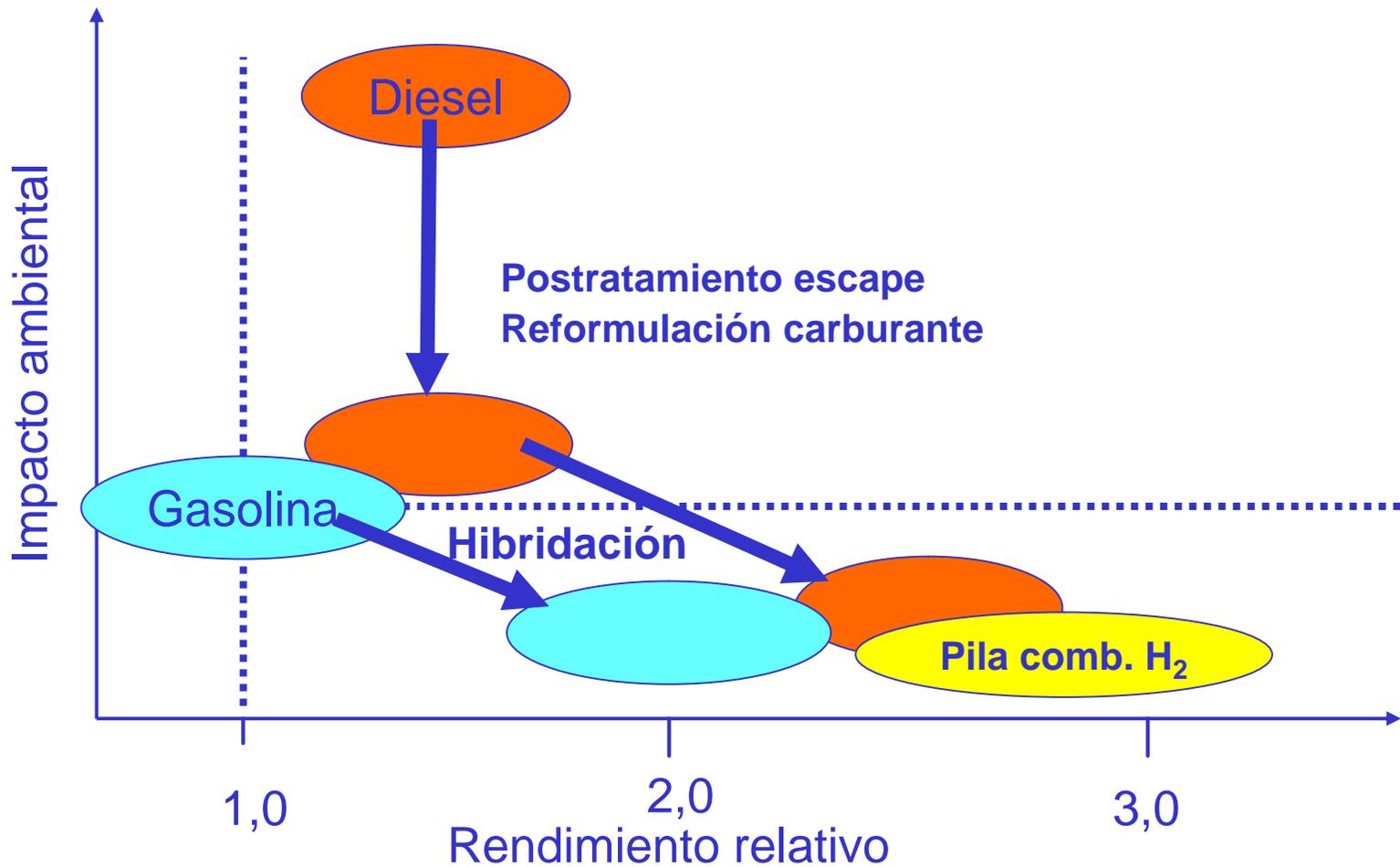
Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones



Vehículos Híbridos



La propulsión híbrida como solución

- **Propulsión con una combinación de motores (motor eléctrico y/o térmico) y normalmente un sistema de acumulación de energía**
- **Optimización de la gestión de los flujos de energía en el vehículo**
- **Su éxito dependerá del grado de**
 - **Exigencias medioambientales requeridas**
 - **Modificación del panorama de abastecimiento energético mundial**
 - **Esfuerzos de investigación realizados \bar{P} reducir coste**
- **Pero es imprescindible contar con un grado de penetración amplio en los mercados que garantice la viabilidad económica de estos sistemas.**

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones



La propulsión no convencional

- **Propulsión eléctrica pura.** Acumuladores de energía eléctrica
- **Propulsión híbrida:**
 - **Térmica + eléctrica**
 - **Térmica + acumulador de energía**
 - **Sistemas mecánicos: inercias rotativas, acumuladores hidráulicos o neumáticos**
 - **Sistemas eléctricos: baterías, supercondensadores**
 - **Pilas de combustible con acumulación de energía.**
 - **Cualquier combinación de las anteriores**

La propulsión híbrida es básicamente una optimización de la gestión de la energía (térmica, eléctrica y mecánica) en el vehículo

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones



Ahorro energético con la propulsión híbrida

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones

- **Motor térmico de menor tamaño (cilindrada)**
- **Potencia máxima y aceleración contribuye el motor eléctrico**
- **Optimización del punto de funcionamiento del motor térmico**
- **Motor térmico se para cuando vehículo se detiene**
- **Recuperación de energía en las frenadas**

Algunos problemas:

- **Calefacción y refrigeración con motor parado**
- **Motor térmico arranca y para repetidamente**
- **Peso y coste**



Optimización de la gestión de energía

Introducción

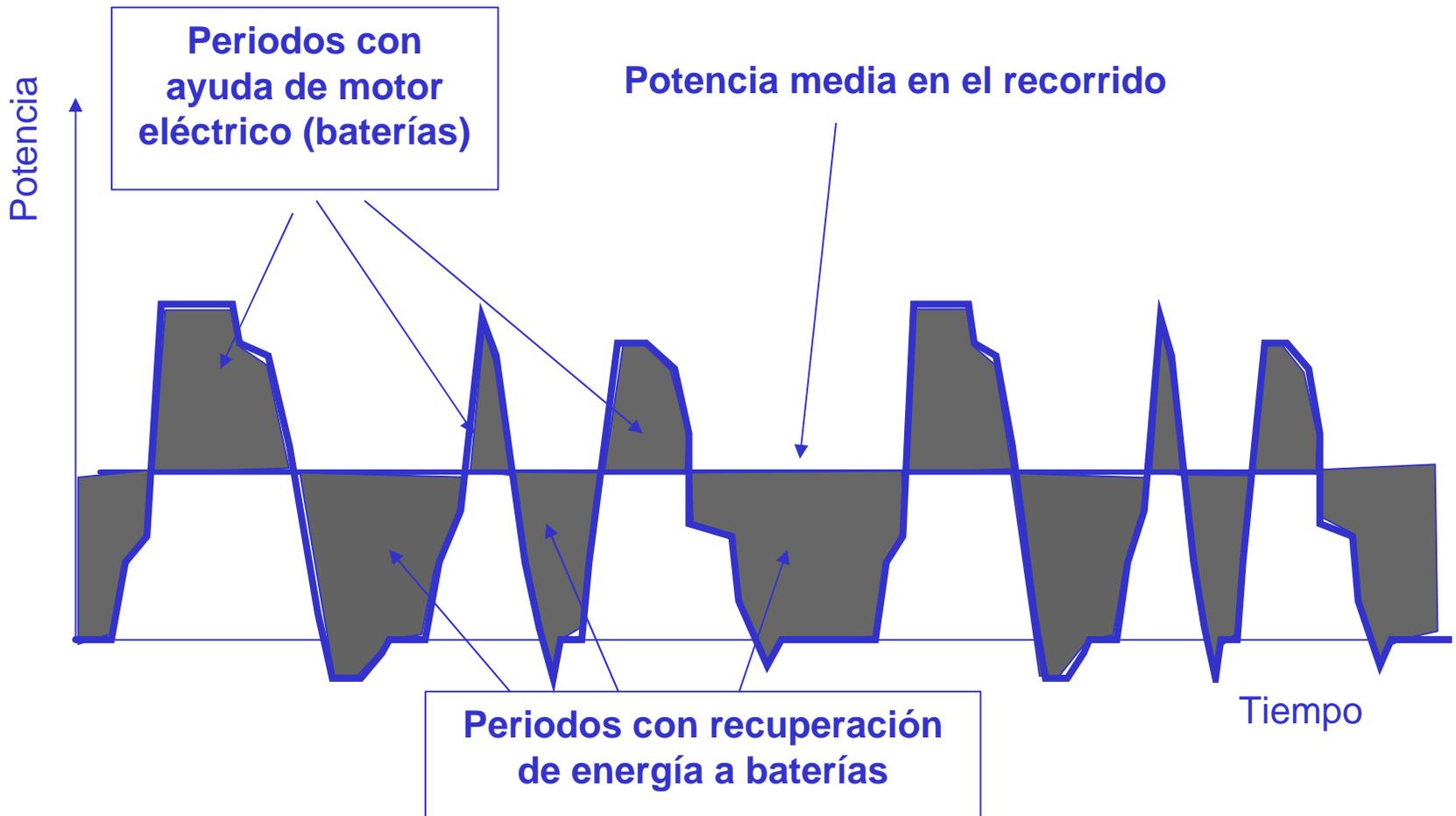
Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones



Híbridos configuración en paralelo

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones

Características básicas

- **El motor térmico y el eléctrico están siempre conectados a la transmisión**
- **El motor térmico puede hacerse más pequeño porque el motor eléctrico ayuda para aumentar la potencia de tracción**
- **El motor térmico arranca y para cuando sea necesario**



Híbridos configuración en paralelo

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones

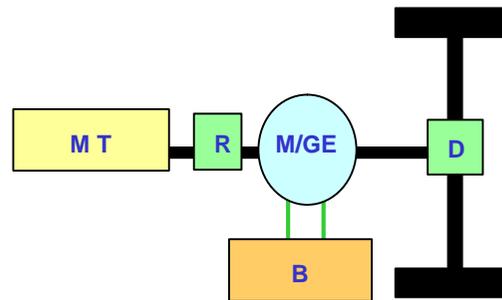
MT: Motor Térmico

R: Reductor

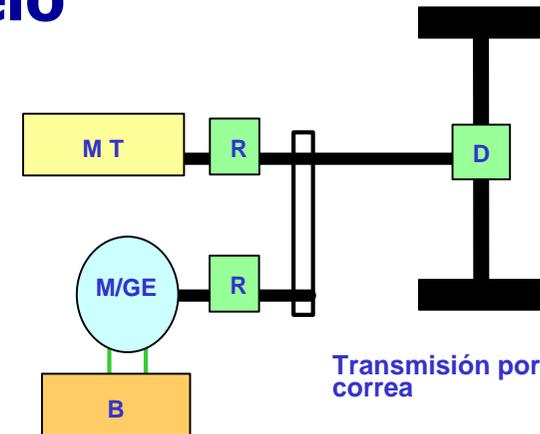
M/GE: Motor Generador

B: Batería

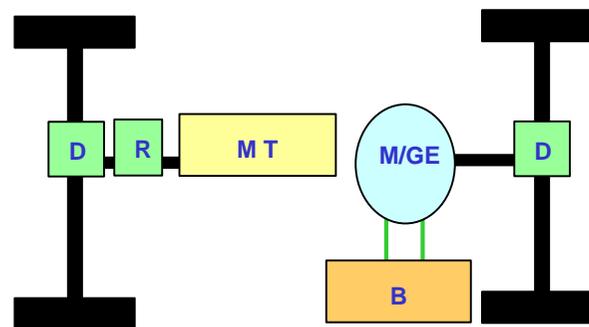
D: Diferencial



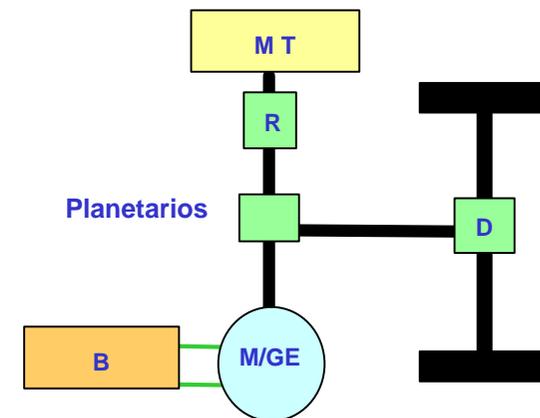
Eje Simple: Adición de Par de tracción



Eje Doble: Adición de Par de tracción



Eje Doble: Adición de Potencia de Tracción



Eje Doble: Adición de revoluciones

Vehículos Híbridos



Híbridos configuración en serie

Introducción

Condiciones
de los sistemas
de propulsión

La propulsión
híbrida como
solución

La tecnología
de los
vehículos
híbridos

Oportunidades
de futuro

Conclusiones

Características básicas

- **El motor térmico carga las baterías mediante un generador**
- **El motor térmico no propulsa directamente el vehículo**
- **La frenada regenerativa se utiliza para ayudar en la recarga de las baterías**



Configuración en serie

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones

MT: Motor Térmico

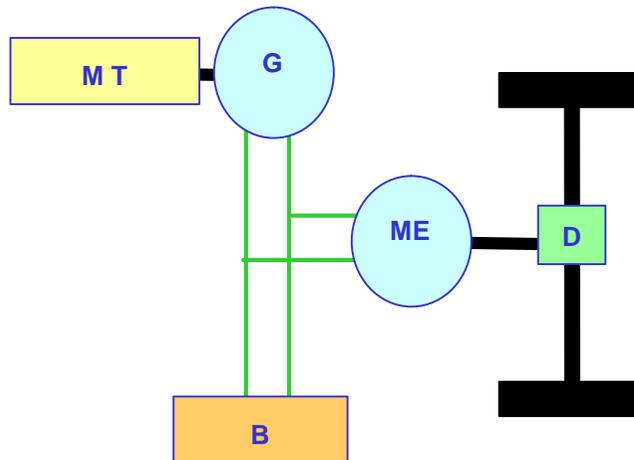
R: Reductor

G: Generador

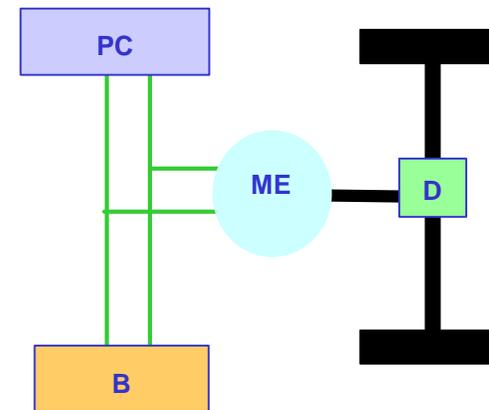
ME: Motor eléctrico

B: Batería

D: Diferencial



Con Motor Térmico y Generador.



Con Pila de Combustible



Configuración en serie

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

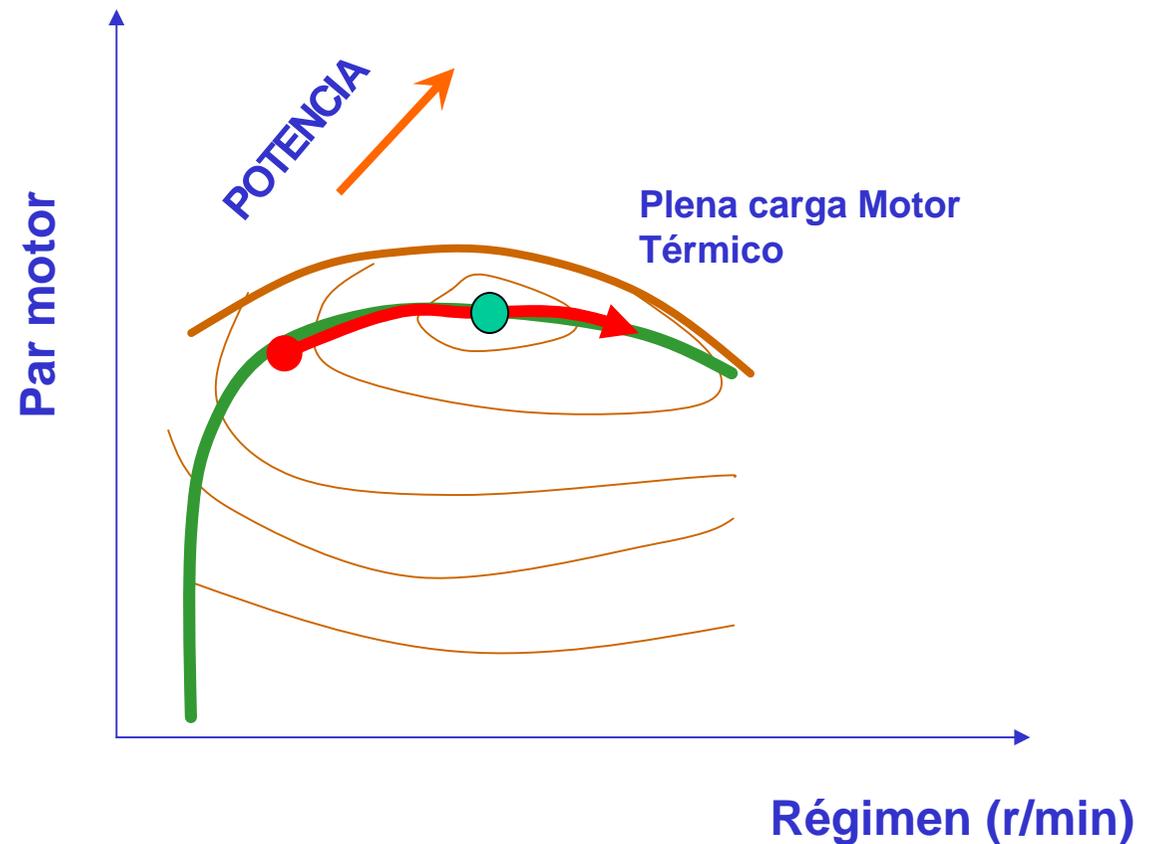
La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones

Objetivo:

mantener el motor térmico en su zona de óptimo rendimiento



Tendencias de diseño diferentes

- **Vehículos ligeros**

- **Turismos de uso urbano (en Japón y EE.UU)**
- **Grandes turismos (en Europa)**
- **Todo terreno (en EE.UU. (SUV))**
- **Microbuses (Japón)**

- **Vehículos pesados**

- **Autobuses urbanos**
- **Pequeños camiones de reparto urbano (Japón)**

Introducción

Condiciones
de los sistemas
de propulsión

La propulsión
híbrida como
solución

La tecnología
de los
vehículos
híbridos

Oportunidades
de futuro

Conclusiones



Algunos vehículos híbridos

Introducción

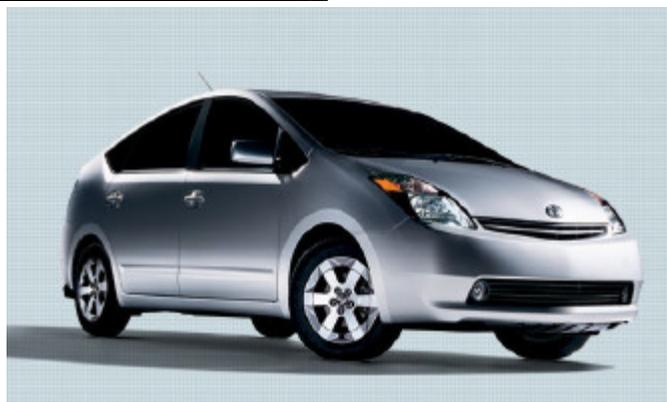
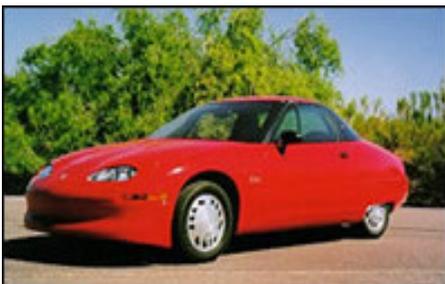
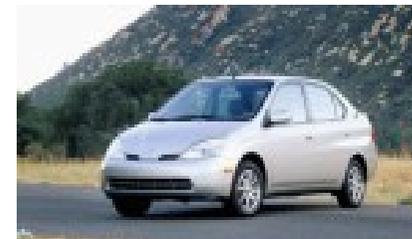
Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones



Vehículos Híbridos

Vehículos híbridos ligeros

- Algunos vehículos híbridos en venta o previstos

Marca y modelo	Tipo	Consumo (l/100km)	Disponibilidad
Honda Insight	Turismo medio	3,1	2004
Honda Civic	Turismo pequeño	3,4	2003
Toyota Prius	Turismo pequeño	3,2	2002
Ford Escape	Todoterreno	7,8	2005
GM Saturn	Turismo medio	N.D.	2005
GMC Sierra PHT	Pick up	N.D.	2007
Lexus RX Hybrid SUV	Todoterreno	N.D.	N.D.
Mercedes S Class	Turismo grande	N.D.	2006
Nissan Tino H	Turismo medio	5,0	2002
Toyota Estima H	Turismo medio	5,6	2002

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones



Comparación de consumo sistema híbrido - convencional

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

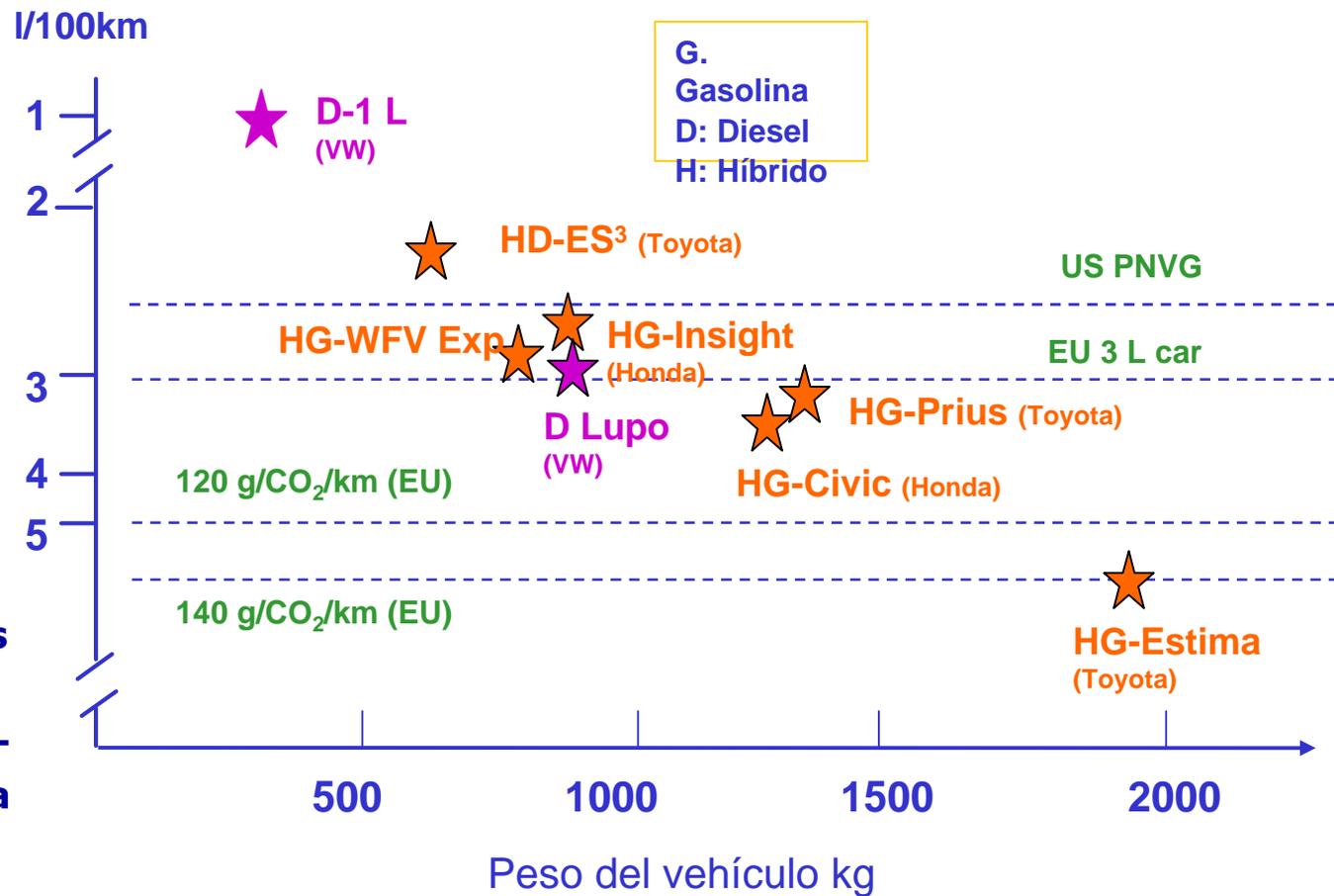
La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones

Rendimientos medios del orden del 37 - 40 % frente a 16 - 20 % en motores convencionales



Vehículos Híbridos



El Toyota Prius

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones

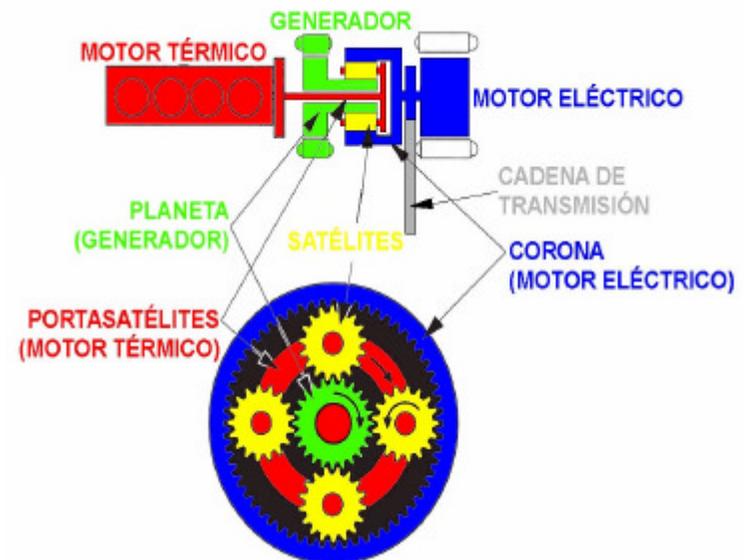


Configuración MIXTA:

El dispositivo que acopla las tres máquinas permite que la potencia del motor térmico vaya en parte a las ruedas y en parte al generador

Combina cuatro elementos:

- Motor térmico de gasolina (1,5 l, 68 kW)
- Motor eléctrico
- Generador eléctrico
- Baterías de Ni-Mh. (201,6 V)



Sistema de transmisión de Toyota

Introducción

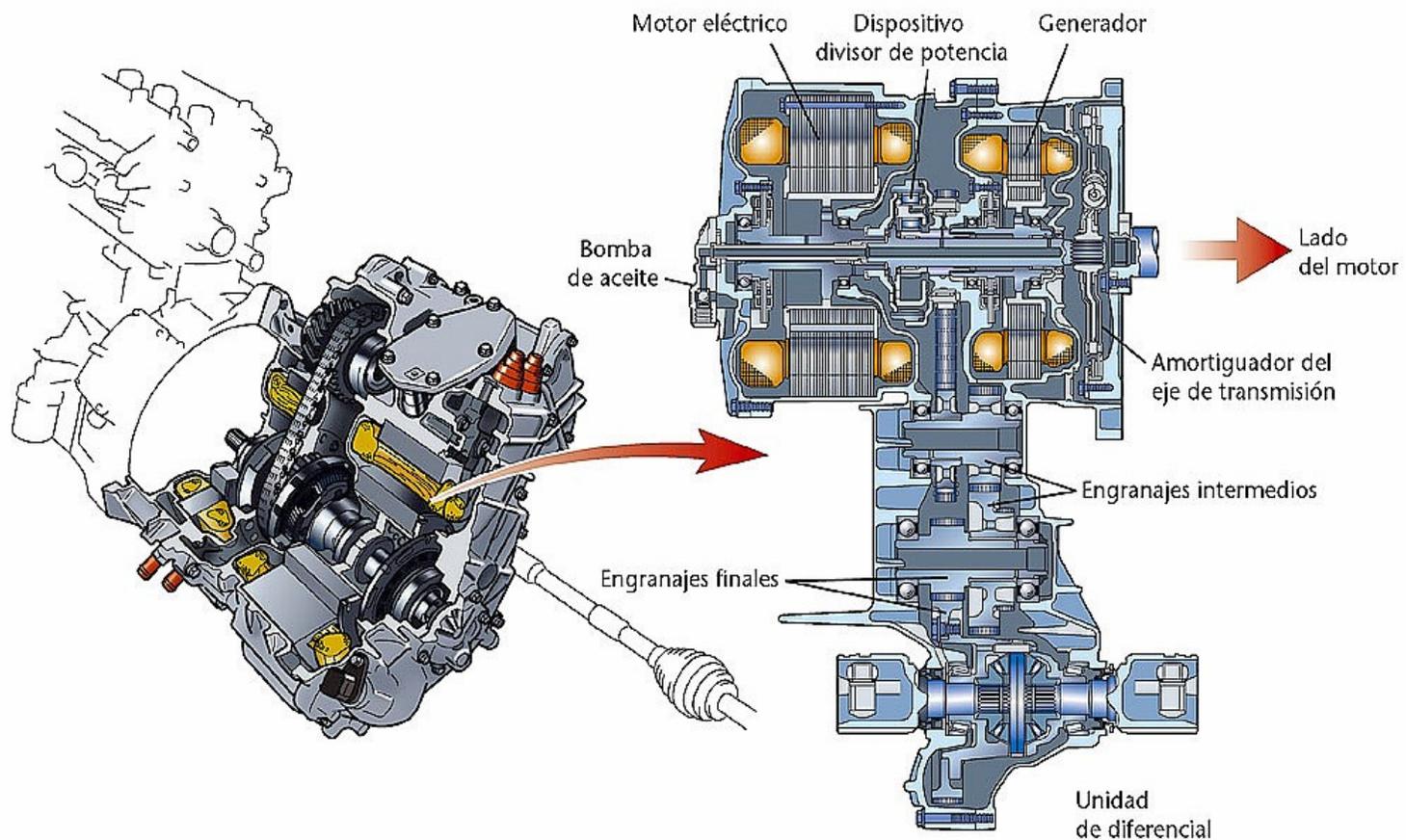
Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones



Funcionamiento sistema mixto

Introducción

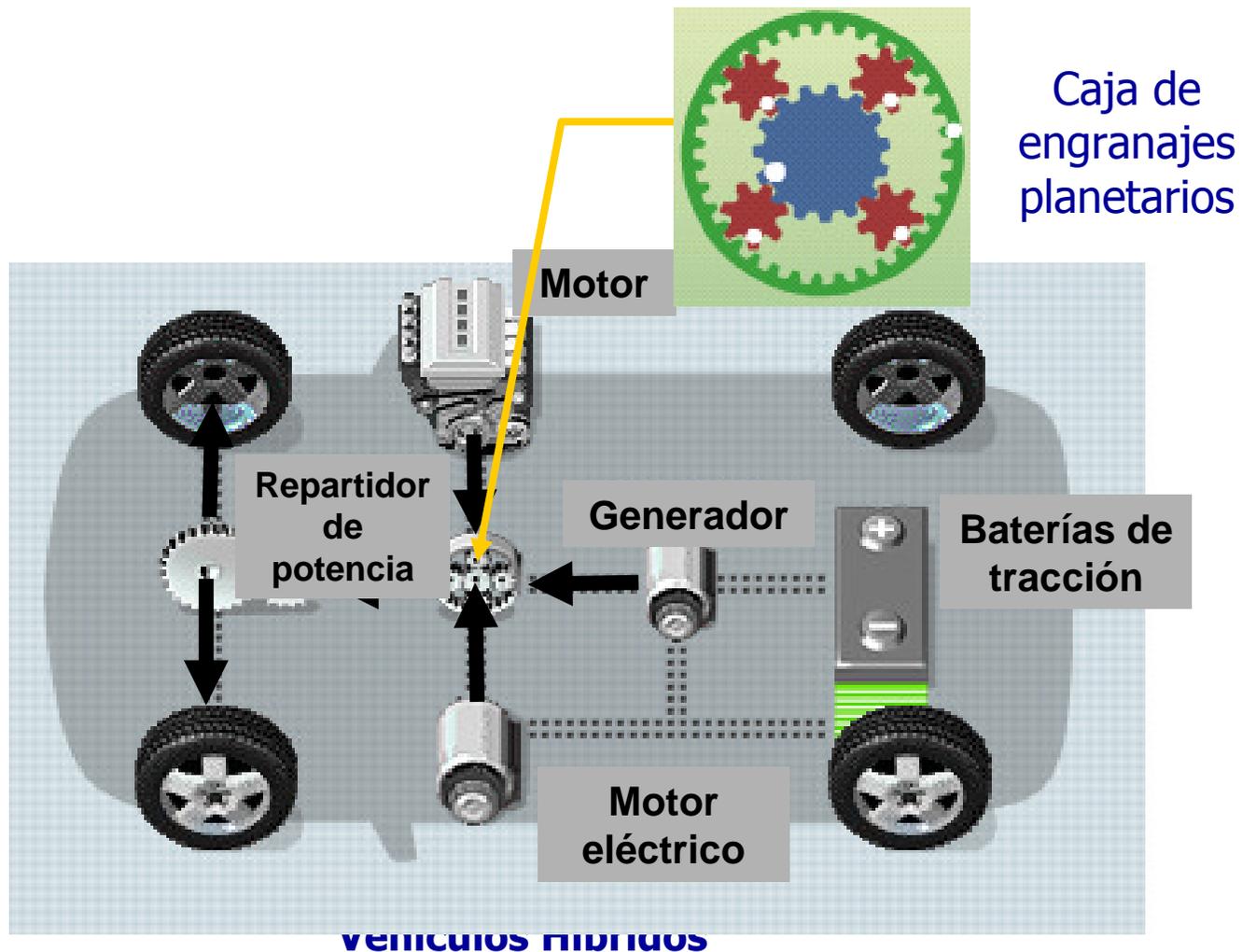
Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

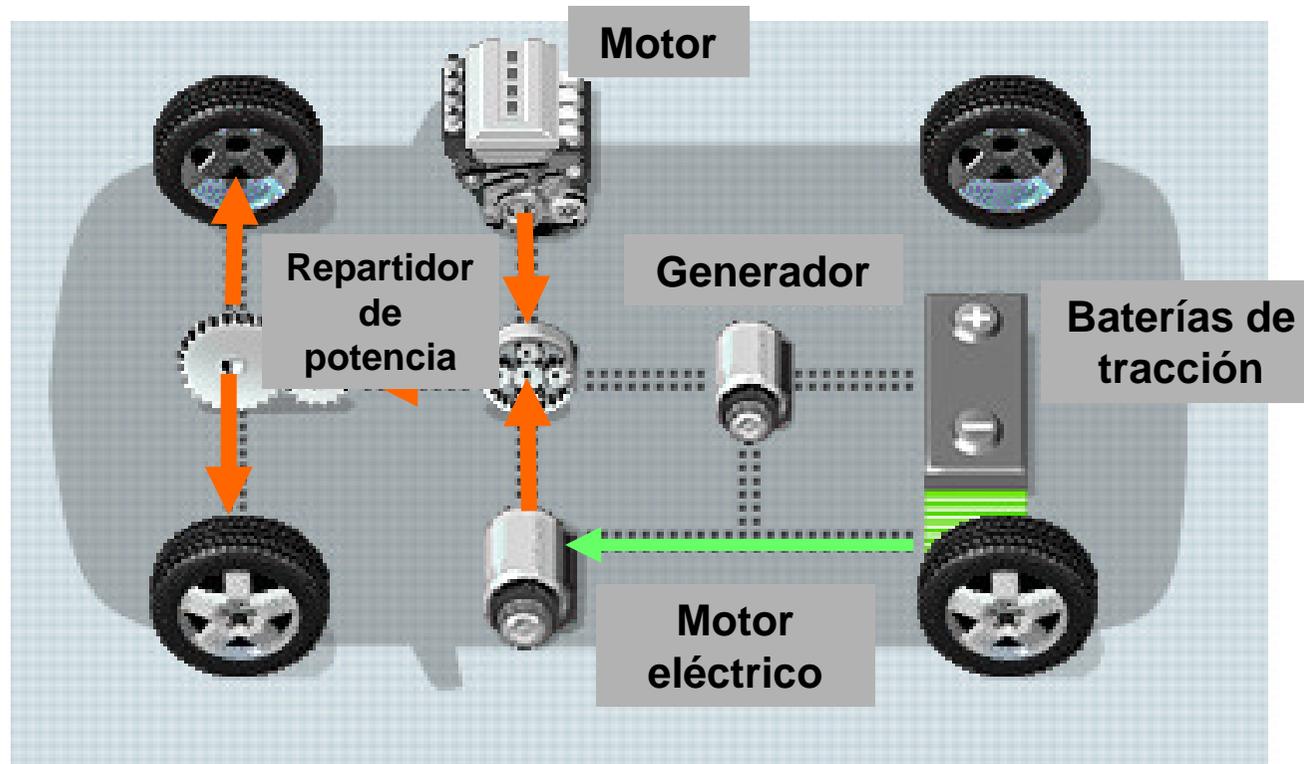
Oportunidades de futuro

Conclusiones



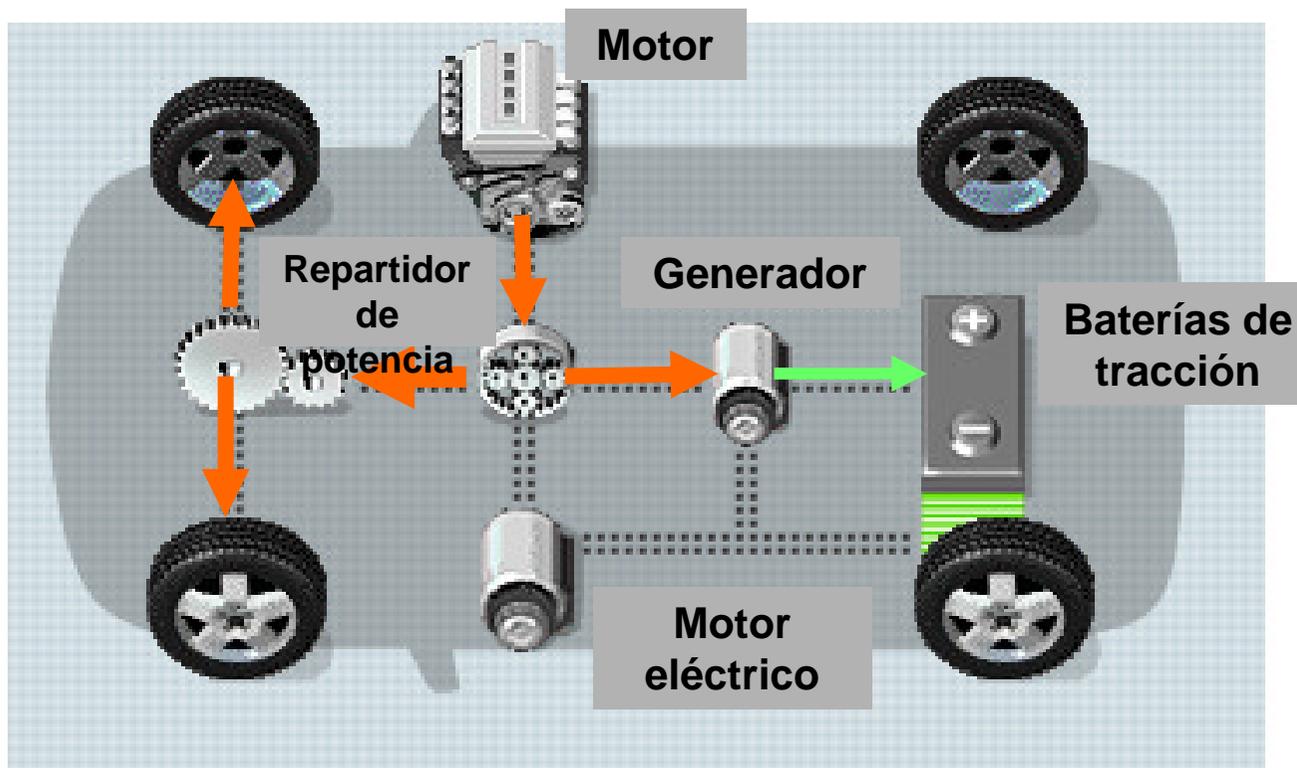
Funcionamiento sistema mixto

- **Arranque:** motor eléctrico enciende a motor térmico y le ayuda
- **Alta potencia:** motor eléctrico ayuda a motor térmico



Funcionamiento sistema mixto

Media potencia: motor térmico propulsa y recarga baterías



Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

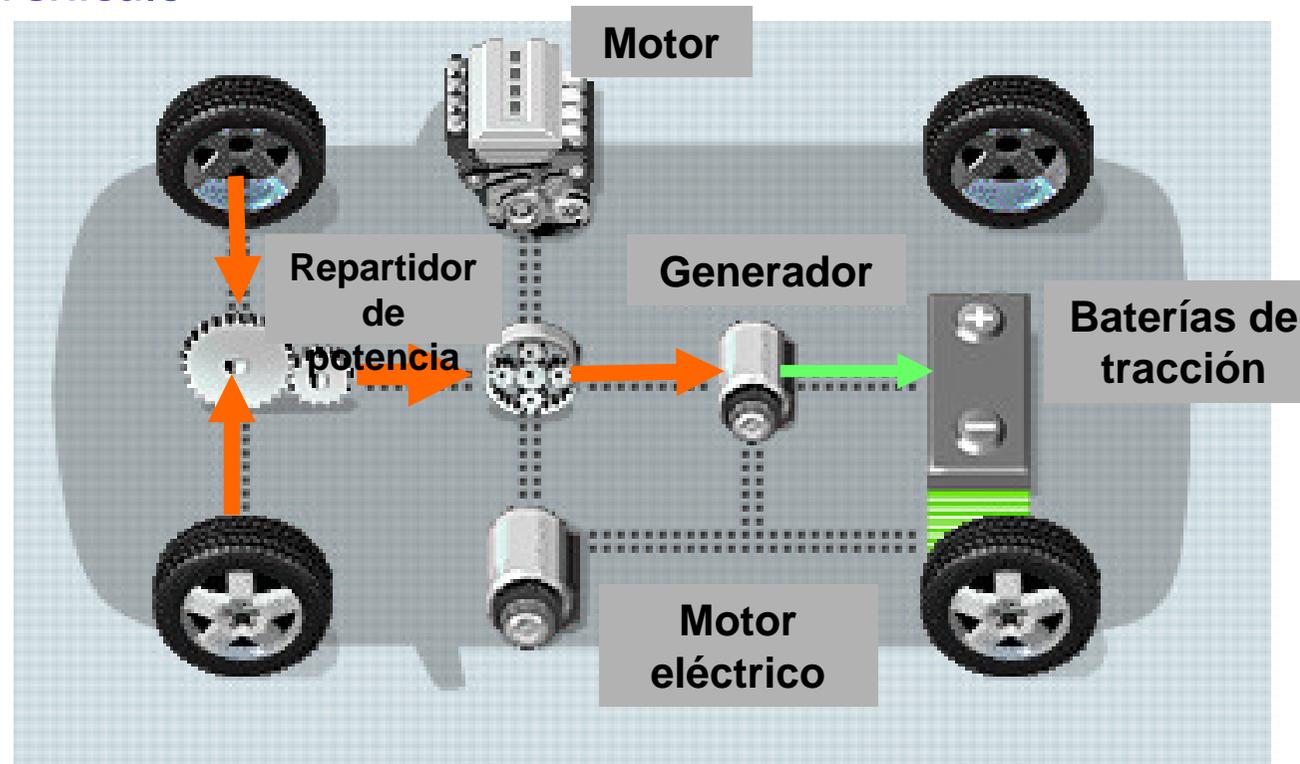
Oportunidades de futuro

Conclusiones



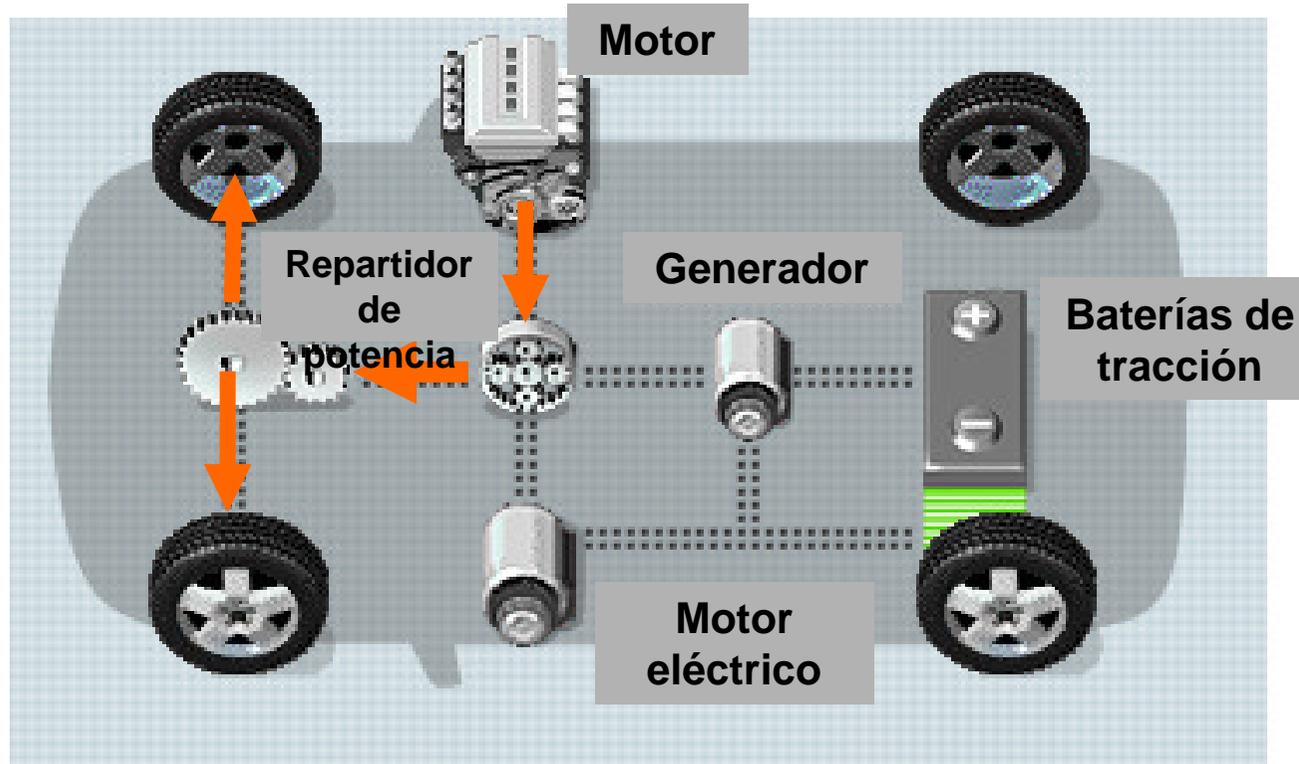
Funcionamiento sistema mixto

Frenada: las ruedas arrastran el generador que recarga las baterías. Motor térmico puede pararse si se llega a detener el vehículo



Funcionamiento sistema mixto

- Funcionamiento como motor térmico puro



Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

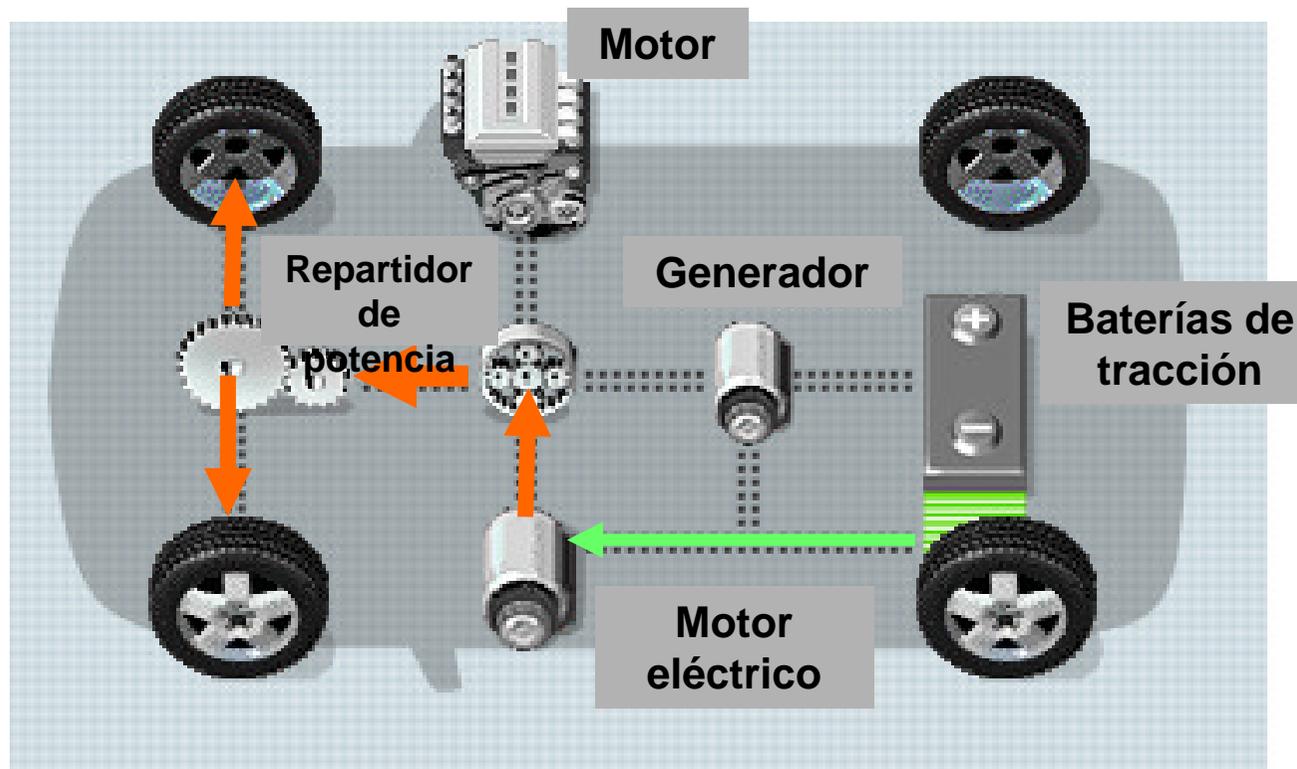
Oportunidades de futuro

Conclusiones



Funcionamiento sistema mixto

Funcionamiento como motor eléctrico puro



Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones



Vehículos híbridos pesados

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones



Vehículo MAN
Motor diesel: 162 kW
Motor eléctrico asíncrono: 2 x 100 kW
Generador: 150 kW



Sistema de almacenamiento por ultracondensadores



Vehículo Allison (GM)

Reducción de emisiones respecto a versión diesel

- PM: 90%
- HC: 90%
- NOx: 50%
- CO: 90%

Vehículos Híbridos ciclo CBD-14



Autobuses urbanos híbridos

- **Comportamiento en régimen muy variable de carga**
- **Fuertes aceleraciones y deceleraciones** ⇨ **Significativa recuperación de energía en frenadas**

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

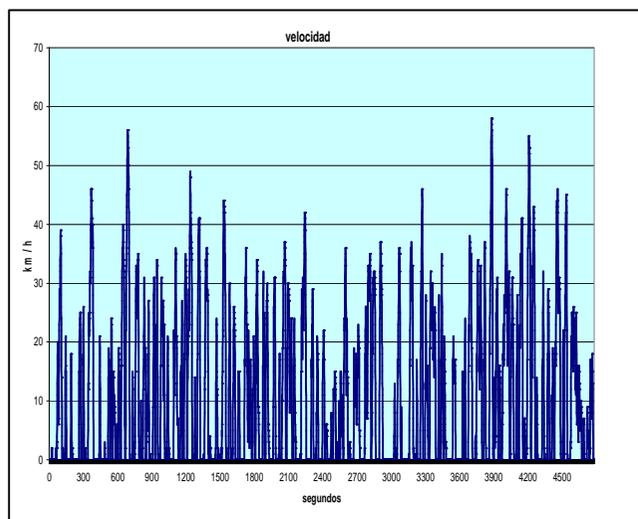
La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

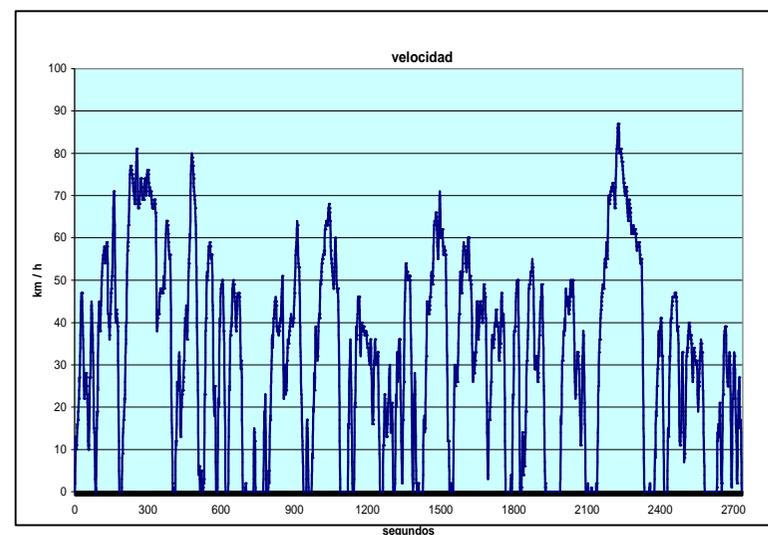
Oportunidades de futuro

Conclusiones

Ciclo lento



Ciclo rápido



Ejemplo de datos de velocidad tomados en dos líneas de autobuses de Madrid



Autobuses urbanos híbridos

- Ejemplo de reducciones de consumo obtenidas

Peso total: Autobús urbano 11995 kg

Configuración: serie y estrategia on-off

2 Motores eléctricos asíncronos con relación de transmisión fija 7.2

100 módulos baterías Pb – ácido de C/3 54 Ah y 19 kg por módulo

MEC de 206 g/kWh de consumo mínimo

	Consumo de combustible (l/100km)	
	Autobús convencional	Autobús híbrido
Ciclo de conducción lento	70,65	36,24
Ciclo de conducción rápido	37,74	35,57

Escasa ventaja en velocidades altas y constantes

Vehículos Híbridos

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones



Tecnología de baterías



Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones

Característica	Unidades	Medio Plazo	Largo Plazo
Energía específica	Wh/kg	80-100	150-200
Densidad de energía	Wh/litro	130	300
Densidad de potencia	W/litro	250	600
Ciclos de carga y descarga	Ciclos	600	1000
Vida	Años	5	>10
Tiempos de recarga	Horas	<6	3-6
Recarga rápida al 40%	Minutos	15	15
Temperatura de funcionamiento	°C	-30 a +65	-40 a +85
Coste (10.000 unidades/año)	\$/kWh	>150	>100



Tecnologías de baterías

Introducción

Condicionantes de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones

	Pb - Gel	Ni - Cd	Ni - MeH	Li - ión
	<p>Barata</p> <p>Distribución de potencia uniforme</p> <p>Fiable</p> <p>Mucha experiencia acumulada</p> <p>Autodescarga baja</p> <p>Efecto memoria despreciable</p>	<p>Elevada densidad de energía</p> <p>Posible carga/descarga eficiente</p> <p>Amplia banda de temperaturas</p> <p>Capacidad estable después de descarga prolongada</p> <p>Tolera sobrecarga y sobredescarga</p>	<p>Elevada densidad de energía</p> <p>Larga vida útil</p> <p>Es posible una descarga rápida</p>	<p>Tensión y densidad de energía elevadas</p> <p>Larga vida útil</p> <p>Efecto memoria despreciable</p> <p>Autodescarga baja</p>
	<p>Baja densidad de energía</p> <p>Vida útil corta</p> <p>Necesidad de añadir agua</p>	<p>Relativamente cara</p> <p>Efecto memoria</p> <p>Necesario un sistema de reciclaje</p>	<p>Cara</p> <p>Mala aceptación de carga a altas temperaturas</p> <p>Autodescarga a altas temperaturas</p>	<p>Cara</p> <p>Mejoras en la seguridad</p> <p>Poco robusta frente a sobrecargas</p> <p>Débil a bajas temperaturas</p> <p>Materiales empleados escasos y caros</p>



El motor eléctrico (I)

Introducción

Condicionantes de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones

	Motor DC	Motor de inducción	Motor Síncrono de imanes permanentes	Motor de Reluctancia conmutada
Estructura del motor	<p>La escobilla genera chispas y necesitan mantenimiento</p> <p>Necesidad de un polo conmutador</p> <p>Serie: control de velocidad sencillo</p> <p>Paralelo: gran par de arranque. Decece a medida que aumenta la velocidad del motor</p>	<p>Simple y robusto</p> <p>El campo rotativo del estator genera una corriente eléctrica en el conductor del rotor para obtener par</p> <p>El funcionamiento a velocidad constante es sencillo</p>	<p>Diseño compacto y ligero</p> <p>Muy eficiente</p> <p>Hacen falta imanes permanentes</p> <p>También denominado motor DC brushless o motor PM</p>	<p>tienen un número de polos distinto</p> <p>El bobinado del estator está concentrado</p> <p>Trabaja como un motor de inducción al arrancar y después como un motor síncrono</p> <p>Fácil de refrigerar</p>
Eficiencia	Regular	Regular	Muy buena	Buena
Coste	Más caro que los motores de inducción	Barato	Necesita imanes caros de metales raros para que sea ligero	Barato (sin metales raros)



El motor eléctrico (II)

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones

	Motor DC	Motor de inducción	Motor Síncrono de imanes permanentes	Motor de Reluctancia conmutada
Fuente de potencia	DC Es difícil emplear tensiones elevadas a causa del conmutador	AC (necesita un inversor) Es fácil usar tensiones elevadas	AC (necesita un inversor) Es fácil usar tensiones elevadas	AC (necesita un inversor) Es fácil usar tensiones elevadas
Funcionamiento a altas velocidades	El conmutador dificulta las velocidades grandes	Fácil	Más difícil que los motores de inducción (a causa del imán)	Fácil
Tamaño compacto	Difícil	Difícil	Fácil	Fácil
Potencias elevadas	Difícil	Fácil	Un poco difícil	Un poco difícil
Controlador	Circuito de control simple Pocos componentes. Diseño barato y compacto	Circuito de control complicado Muchos elementos de potencia. Caro y voluminoso	Circuito de control complicado Muchos elementos de potencia. Caro y voluminoso	Circuito de control complicado Muchos elementos de potencia. Caro y voluminoso Driver de corriente DC pulsada



Oportunidades de futuro (1/2)

- **Pueden considerarse un primer paso hacia los sistemas basados en pila de combustible con H₂**
 - **Eficiencia energética global de 32 % frente a 49% previsto en pila de combustible con H₂**
- **Utilizarían parte de la tecnología**
 - **En ambos sistemas las baterías almacenan e. eléctrica**
 - **Motores eléctricos de tracción - Generadores**
 - **Convertidores CC/CA alta tensión.**
 - **Algoritmos de gestión y control de energía similares**
 - **Todos los sistemas auxiliares del vehículo: climatización, seguridad, ayudas a la conducción**

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones



Oportunidades de futuro (2/2)

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones

- **Desarrollo de motores térmicos de menor consumo, menores emisiones, más silenciosos y de menor peso.**
- **Desarrollo de motores eléctricos de mayor rendimiento y potencia específica.**
- **Optimización y reducción de coste y peso de los sistemas de acumulación de energía eléctrica**
- **Diseño de algoritmos de control y gestión de energía más sofisticados y auto-adaptativos.**
- **Sistemas de diagnóstico y sensores avanzados**
- **Sistemas auxiliares del vehículo adaptados al tipo de planta de potencia híbrida.**



Tendencias en propulsión de vehículos ligeros

Introducción

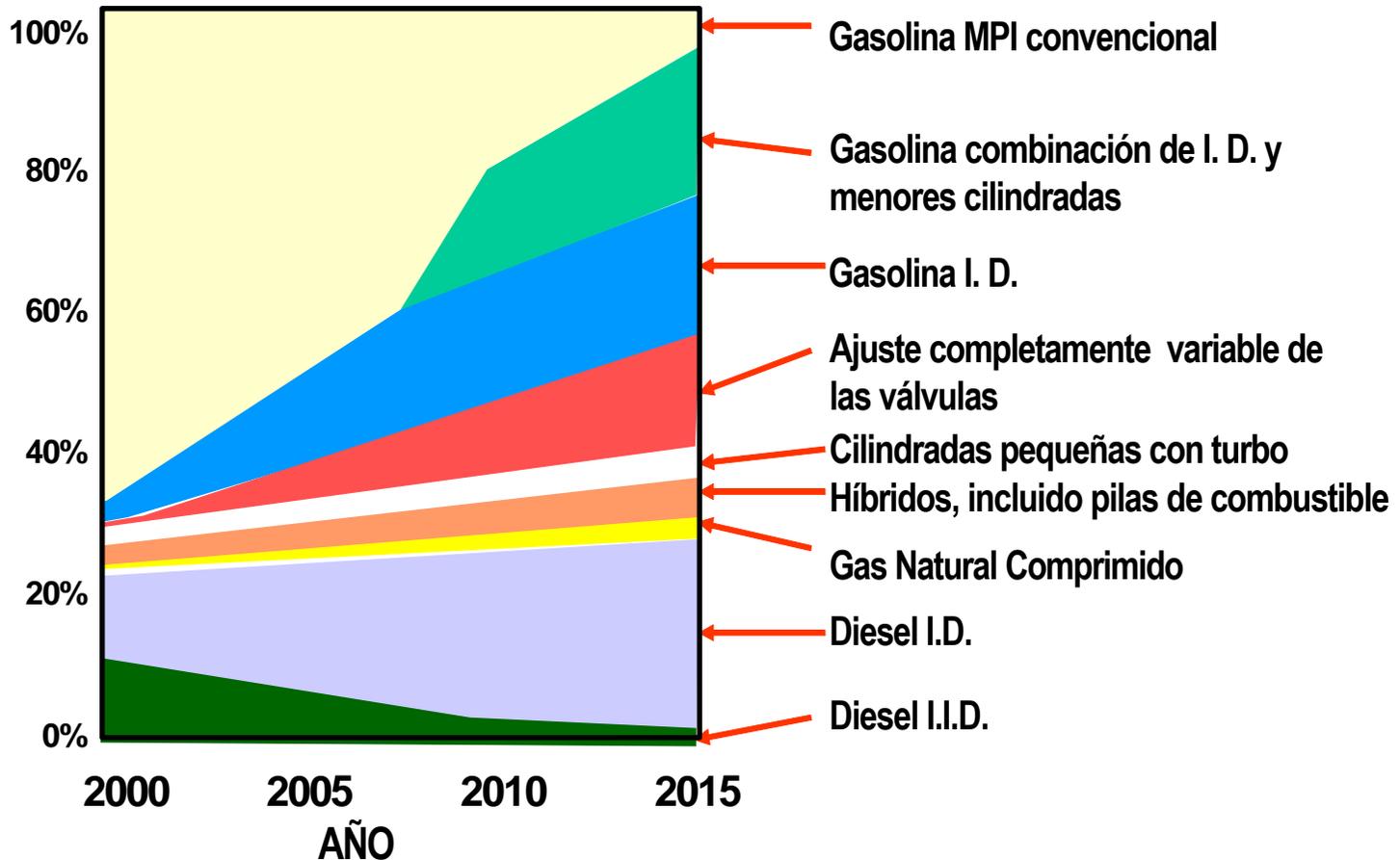
Condicionantes de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones



Vehículos Híbridos



Conclusiones

Introducción

Condiciones de los sistemas de propulsión

La propulsión híbrida como solución

La tecnología de los vehículos híbridos

Oportunidades de futuro

Conclusiones

- **Ventajas:**
 - **Bajo consumo y menor emisión de CO₂**
 - **Menor impacto ambiental: emisiones contaminantes y ruido**
- **Desventajas:**
 - **Coste**
 - **Prestaciones**
- **Más apropiado a tráfico urbano: taxis, autobuses**
- **Importante desarrollo previsto en próximos años**
- **Oportunidades de I+D+i.**
 - **Reto más importante: sistema de acumulación de energía**
- **Subvenciones:**
 - **En España Castilla y León (Orden EYE/1698/2003)**
 - **30 % extracoste con límite 4.800 €**
 - **En EE.UU. Casi todos los estados ofrecen beneficios:**
 - **Menores impuestos, aparcamiento, zonas reservadas, etc.**

