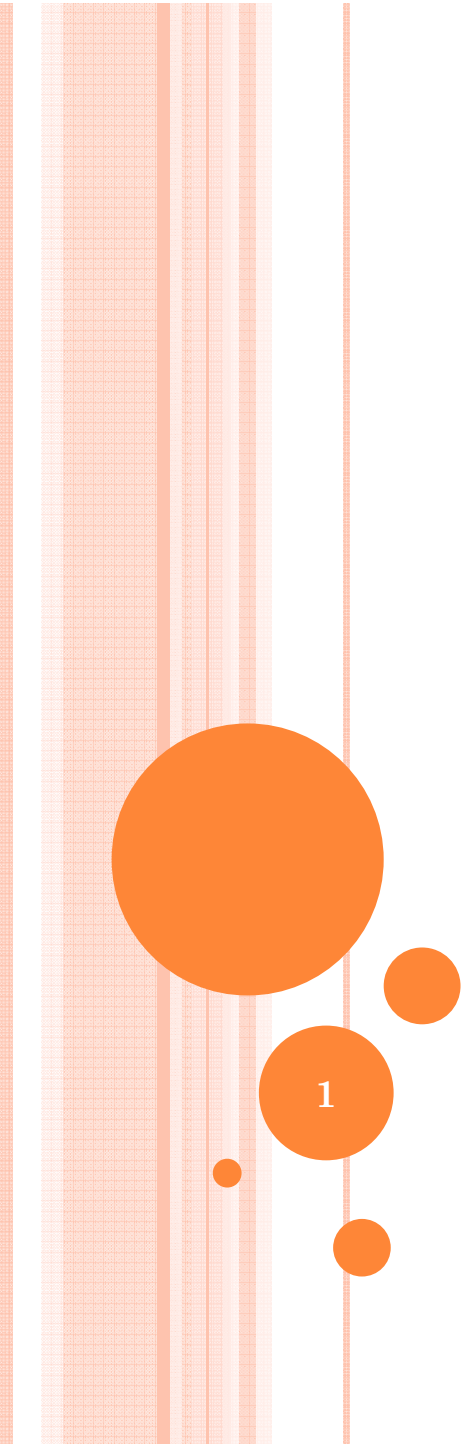




TEMA 2

1 Fuentes de energía para Vehículo Eléctrico

FUENTES DE ENERGÍA

- **Fuentes de energía: suministro continuo y sistemas de almacenamiento. Características y propiedades. Ventajas e inconvenientes**
- Energías no contaminantes: tipos y características

FUENTES DE ENERGÍA

- El suministro de energía para un sistema móvil como es un vehículo tiene la limitación asociada al sistema de conexionado entre la fuente y el receptor (vehículo)
- En la actualidad no se dispone de tecnología capaz de suministrar energía de forma continua a un vehículo desde una fuente, independiente del tipo de fuente que se trate, por lo que se hace imprescindible el uso de sistemas de almacenamiento de la energía

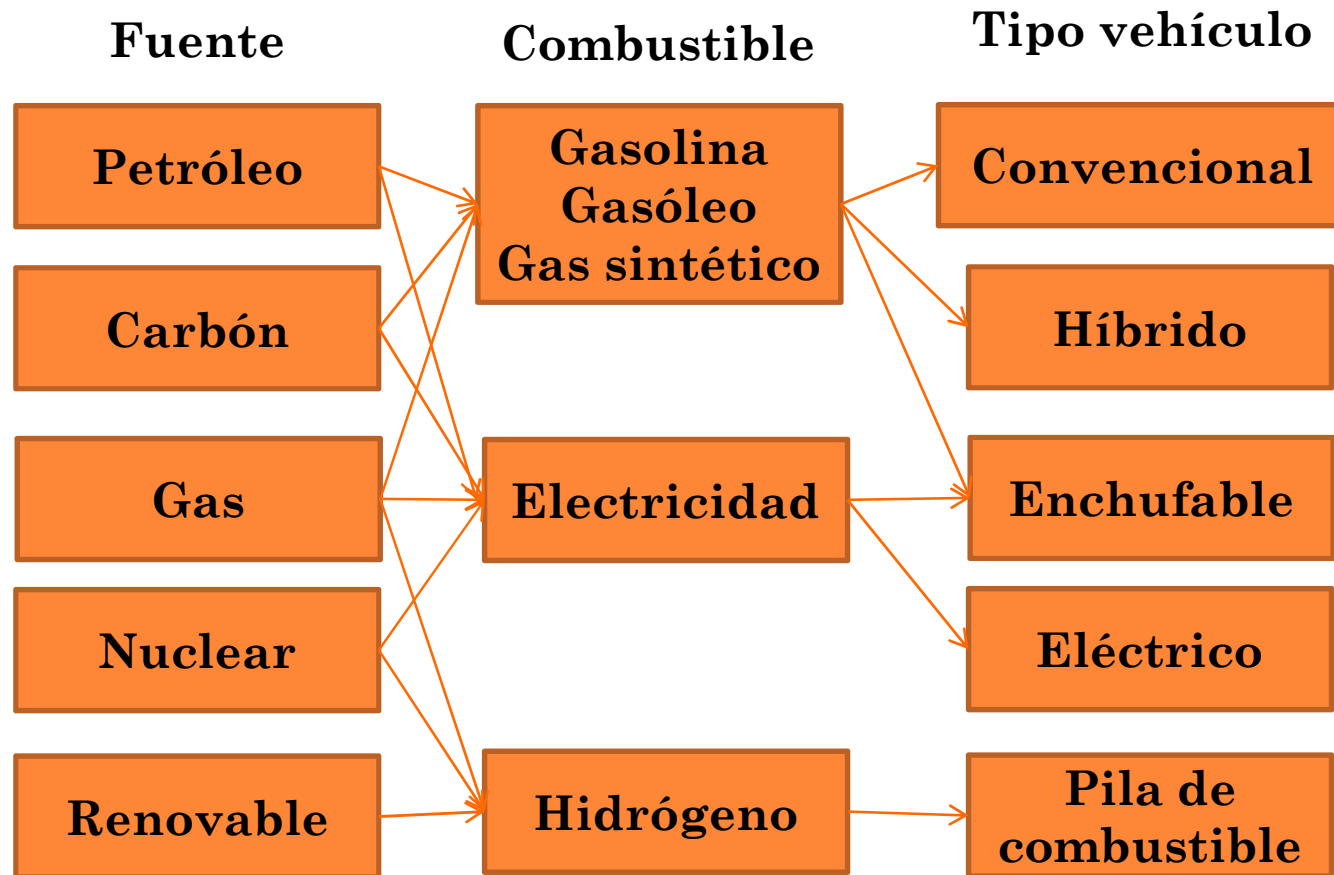
FUENTES DE ENERGÍA

- Es previsible, y hacia dicho objetivo se encamina un tipo de actuaciones muy novedoso, que en el futuro los automóviles puedan recibir energía directamente sin necesidad de disponer de un sistema de almacenamiento, en forma similar a lo que existe hoy en día con el suministro eléctrico a los hogares, industria, etc.
- Las redes de suministro continuo de energía a los vehículos representan un reto considerable en cuanto a desarrollo tecnológico y adaptación de las infraestructuras viarias

FUENTES DE ENERGÍA

- La alimentación para un vehículo eléctrico puede proceder de dos tipos de fuente, convencional y renovable
- Entre las fuentes convencionales se encuentran, fundamentalmente, los combustibles fósiles, básicamente el gas y el petróleo
- Otros tipos de energía convencional son la nuclear y el carbón
- Entre las fuentes renovables podemos mencionar la energía solar, la eólica y el hidrógeno

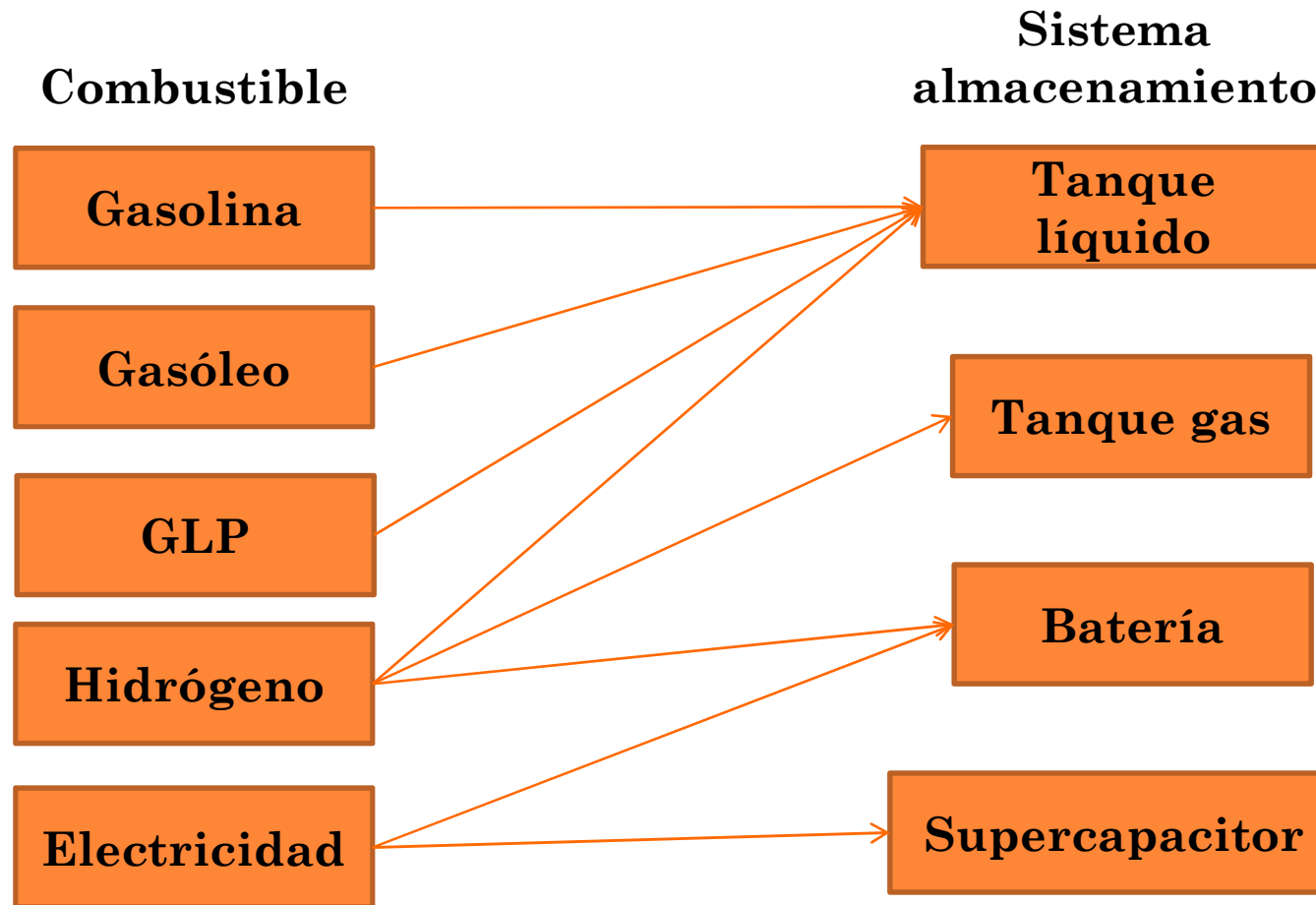
FUENTES DE ENERGÍA



SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

- Los sistemas de almacenamiento que permiten suministrar energía a un vehículo están configurados en función del tipo de elemento combustible que se utilice
- De acuerdo al esquema anterior, existen tres tipos de combustible principales y, por tanto, tres tipos de sistemas de almacenamiento
- Los sistemas de almacenamiento pueden ser simples o híbridos
- Los sistemas simples utilizan un único tipo de combustible y tipo de almacenamiento
- Los sistemas híbridos emplean dos o más tipos de combustible y, por tanto, de almacenador

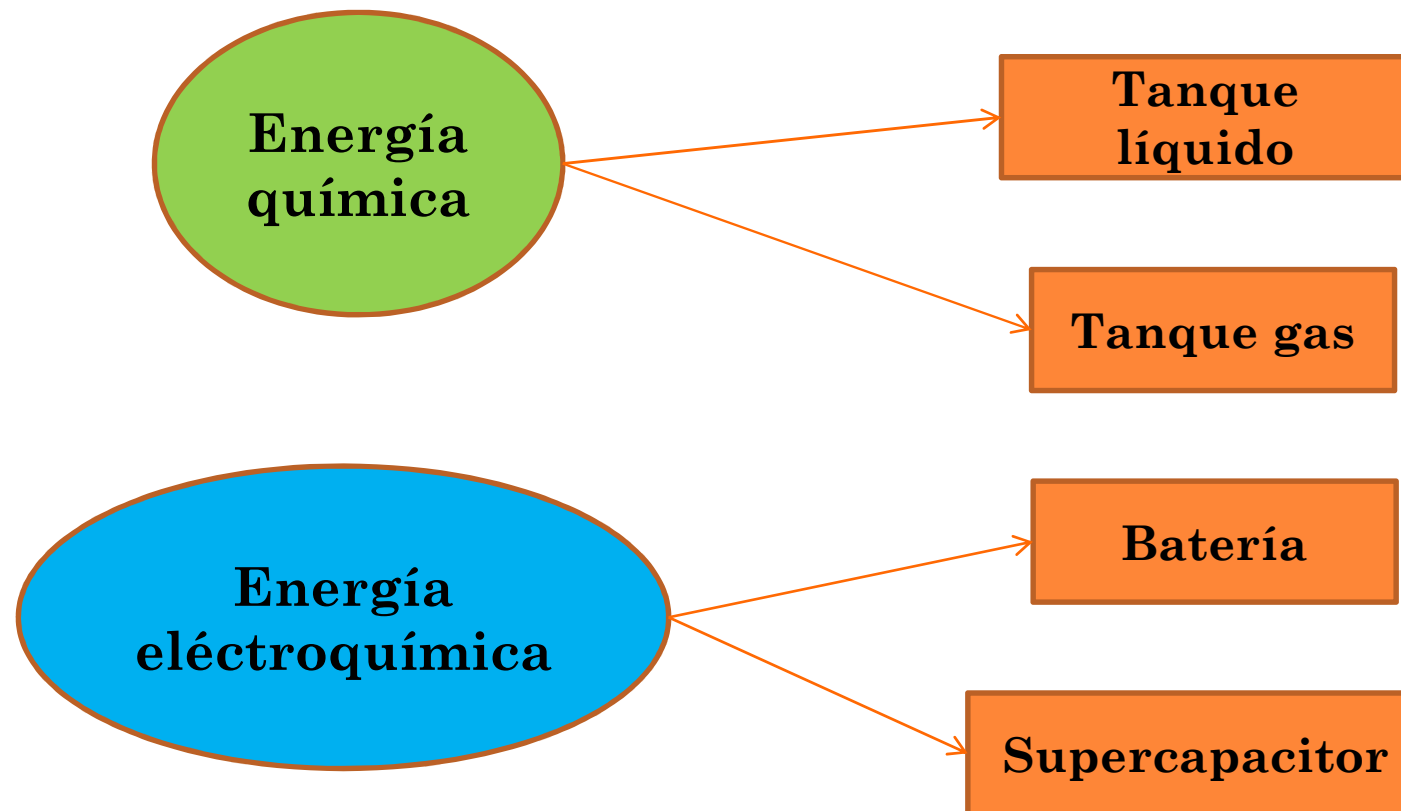
SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO



SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

- En esencia, podemos ver que los sistemas de almacenamiento están clasificados en dos grandes categorías: tanques de fluido (líquido o gaseoso) y dispositivos de almacenamiento eléctrico (baterías y supercapacitores)
- Los tanques almacenan elementos de carácter químico en tanto los dispositivos de almacenamiento eléctrico están configurados para acumular carga eléctrica bajo la forma de energía electroquímica

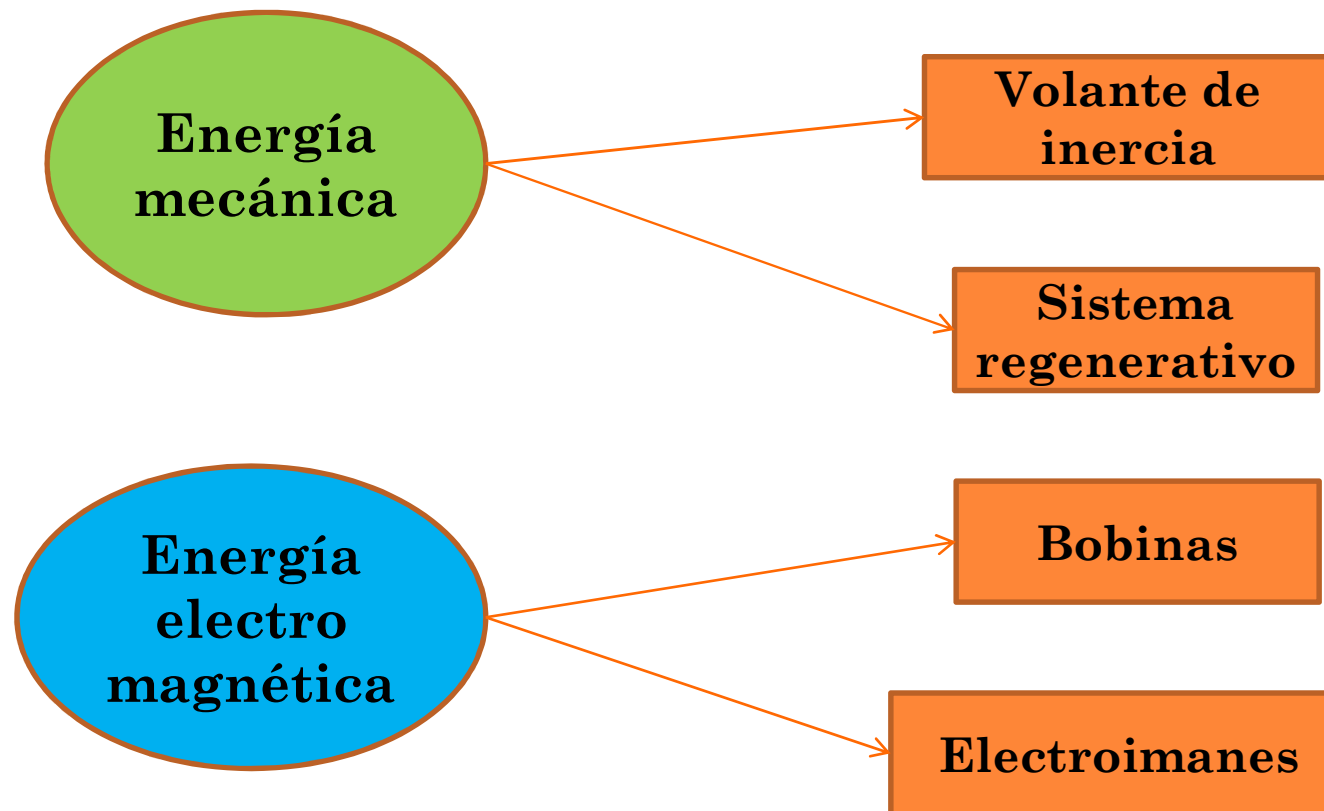
SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO



SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

- Existen sistemas de almacenamiento mecánico e incluso magnético, si bien este tipo de sistemas está todavía poco desarrollado y su tecnología no permite su utilización de forma masiva y comercial
- Entre los sistemas de almacenamiento mecánico se encuentran los llamados “volantes de inercia” y los “dispositivos regenerativos” como son los de tipo KERS y ERS
- Entre los sistemas magnéticos los principales son los de inducción electromagnética por bobinas y electroimanes

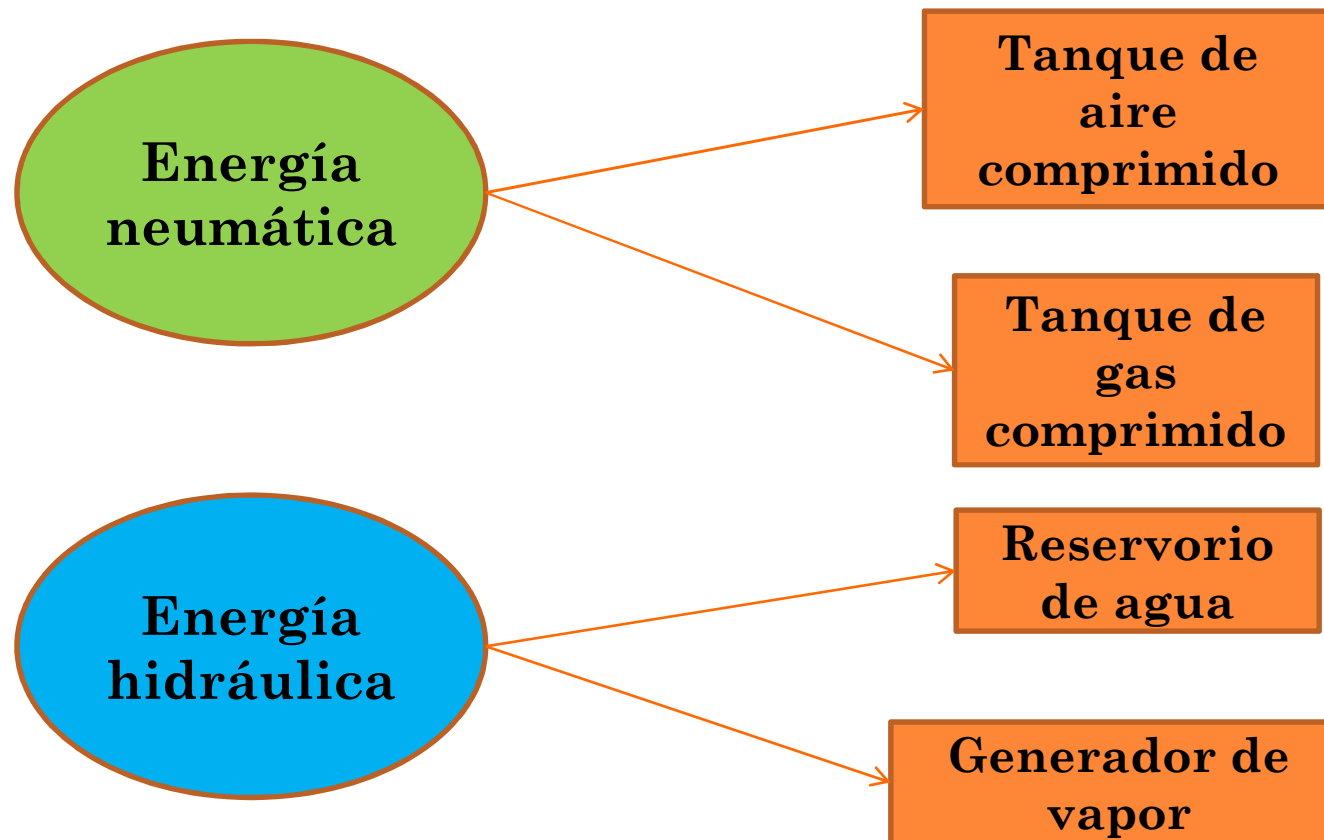
SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO



SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

- Asimismo, existen sistemas de almacenamiento neumático e hidráulico, si bien no han tenido mucha aplicación como fuente de suministro de energía en vehículos de propulsión mecánica
- Los sistemas de almacenamiento neumático se basan, primordialmente, en tanques de aire o gas comprimido
- Los sistemas de almacenamiento hidráulico se pueden usar como fuente para la generación de vapor que actúe como elemento de propulsión

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO



SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

- Los sistemas de almacenamiento en tanques de líquido (energía química) se caracterizan por emplear un combustible fósil (gasolina, gasóleo o gas) de alto poder energético, tanto en base volumétrica como másica
- El proceso de transformación consiste en convertir la energía química en energía mecánica
- Su rendimiento es moderado
- El coste de generación de la energía se puede considerar bajo, si bien es más elevado cuando se compara con otros tipos de combustible y otras fuentes de energía

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
Gasóleo	43	39	ambiente	En uso	200	Ch-W	30

- Si consideramos los valores de densidad de energía proporcionados podemos observar que por litro de gasóleo se obtienen 10,8 kwh, es decir el equivalente al consumo diario de un hogar de 2 personas
- Sin embargo, su moderada eficiencia, 30%, indica que se pierde una gran cantidad de energía en forma térmica sin convertirse en energía de propulsión

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
Gasóleo	43	39	ambiente	En uso	200	Ch-W	30

- Por otro lado, su coste es equivalente a 2 c\$/kwh, un precio similar a los costes de generación de la energía eléctrica convencional
- Este coste, sin embargo, se incrementa como consecuencia de la reducida eficiencia del proceso de conversión, lo que hace que el coste “real” sea próximo a los 7 c\$/kwh, que es parecido al coste de facturación de la energía a nivel doméstico o comercial

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
Gasóleo	43	39	ambiente	En uso	200	Ch-W	30

- Otra de las características esenciales del sistema de almacenamiento líquido es que opera a temperatura ambiente, lo que evita la necesidad de sistemas de calentamiento o enfriamiento para permitir el proceso de transformación energética, ahorrando así energía en el proceso
- Igualmente, al operar a temperatura ambiente no presenta problemas de cambio de fase

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
Gasóleo	43	39	ambiente	En uso	200	Ch-W	30

- El almacenamiento por combustible líquido para automoción (vehículos) tiene la ventaja de ser una tecnología muy madura y plenamente desarrollada, lo que la hace totalmente aplicable sin necesidad de innovaciones tecnológicas sustanciales

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
GLP	44	39	ambiente	En uso	110	Ch-W	40

- El Gas Licuado de Petróleo (GLP) representa una buena alternativa al uso de la gasolina o el gasóleo
- Su densidad energética es muy similar a la de los combustibles fósiles convencionales utilizados en los MCI
- La eficiencia en la conversión de energía química en mecánica es mayor, un 10% superior a la del gasóleo y 20% mayor que en la gasolina

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
GLP	44	39	ambiente	En uso	110	Ch-W	40

- El coste del GLP es más bajo que el de la gasolina o gasóleo, aproximadamente la mitad, lo que hace que la energía tenga un coste en torno a 1 c\$/kwh
- Tomando en consideración las pérdidas por reducción de eficiencia, el coste real se cifra en torno a 3 c\$/kwh, la mitad del precio de la energía eléctrica convencional en el sector residencial o comercial

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
GLP	44	39	ambiente	En uso	110	Ch-W	40

- Al igual que el gasóleo o gasolina el GLP opera a temperatura ambiente, lo que evita la necesidad de sistemas de calentamiento o enfriamiento para permitir el proceso de transformación energética, ahorrando así energía en el proceso
- Igualmente, al operar a temperatura ambiente no presenta problemas de cambio de fase

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
GLP	44	39	ambiente	En uso	110	Ch-W	40

- Al igual que el gasóleo o gasolina el GLP es una tecnología muy conocida y completamente desarrollada permitiendo su uso de manera inmediata y sin necesidad de aportar novedades para su implantación

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

- Los sistemas de almacenamiento en tanques de gas (energía química) se caracterizan por emplear un combustible fósil (gasolina, gasóleo o gas) de alto poder energético, tanto en base volumétrica como másica
- El proceso de transformación consiste en convertir la energía química en energía mecánica
- Su rendimiento es moderado
- El coste de generación de la energía se puede considerar bajo, si bien es más elevado cuando se compara con otros tipos de combustible y otras fuentes de energía

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
H ₂ (g)	140	1.7	-253 a -30	10 años	0.1-10	El-Ch	60

- Si consideramos los valores de densidad de energía proporcionados podemos observar que por litro de hidrógeno se obtienen 0,5 kwh, es decir una cantidad muy pequeña
- Sin embargo, en base másica, el poder energético es de 39 kwh/kg, esto es, cuatro veces superior al de cualquiera de los combustibles líquidos (gasolina, gasóleo o GLP)

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
H ₂ (g)	140	1.7	-253 a -30	10 años	0.1-10	El-Ch	60

- Por otro lado, su eficiencia es mucho más elevada, el triple que el de la gasolina, doble que el del gasóleo y un 50% superior al del GLP
- El proceso de conversión es electroquímico, lo que hace que la eficiencia sea muy elevada
- Esto requiere, sin embargo, sistemas que son caros y sofisticados, cuya tecnología, a nivel de motores de vehículo eléctrico debe desarrollarse

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
H ₂ (g)	140	1.7	-253 a -30	10 años	0.1-10	El-Ch	60

- El coste de generar energía con hidrógeno es muy barato, inferior a 0,01 c\$/kwh
- El principal problema del hidrógeno viene derivado de su almacenamiento
- Si se almacena en forma de gas requiere recipientes a muy alta presión (>200 ATA)
- Si se almacena en forma líquida precisa de un sistema de criogenización (< -250°C)
- Sin embargo, su coste se eleva considerablemente al necesitar un sistema que opere a temperaturas reducidas o presiones elevadas

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
H ₂ (g)	140	1.7	-253 a -30	10 años	0.1-10	El-Ch	60

- El sistema de almacenamiento de hidrógeno está todavía en un estado de desarrollo muy incipiente, por lo que requiere de un desarrollo considerable, tanto a nivel de diseño como de elementos
- La necesidad de alcanzar un estado de desarrollo lo suficientemente avanzado para conseguir una buena operatividad, así como una rentabilidad económica suficiente, hace que no se espere un nivel operativo adecuado antes de 10 años

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

- Los sistemas de almacenamiento eléctrico tienen un bajo poder energético, tanto en densidad másica como volumétrica
- Su rendimiento es muy elevado, de los más altos en cualquier transformación energética
- El coste de generación de la energía es, asimismo, muy bajo, posiblemente el más bajo de todas las fuentes de energía que se utilizan para vehículos eléctricos

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

- En sistemas de almacenamiento eléctrico tenemos que distinguir entre baterías y capacitores y/o supercapacitores
- Ambos sistemas tienen configuraciones similares
- Su modo de operación es también muy parecido
- En ambos casos la fuente de energía es una celda electroquímica
- El proceso de transformación consiste en convertir la energía electroquímica en energía eléctrica

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
Capacitor	-	10 ⁻⁶	-18 a 45	s/d	-	El-El	70-90
Supercond. magn.	-	10 ⁻³	-18 a 45	s/d	-	El-El	70-90

- Los capacitores y supercapacitores tienen bajas densidades energéticas en modo volumétrico
- El reducido nivel de desarrollo de estos sistemas de almacenamiento hace que su coste no esté todavía no esté bien determinado, puesto que existen grandes diferencias en función de la configuración

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
Capacitor	-	10 ⁻⁶	-18 a 45	s/d	-	El-El	70-90
Supercond. magn.	-	10 ⁻³	-18 a 45	s/d	-	El-El	70-90

- La eficiencia, al tratarse de un proceso de conversión electroquímico, es uno de los más altos en la naturaleza, con valores que oscilan entre 70% y 90%, en función del tipo de eficiencia del que se trate, de carga eléctrica o de energía

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
Capacitor	-	10 ⁻⁶	-18 a 45	s/d	-	El-El	70-90
Supercond. magn.	-	10 ⁻³	-18 a 45	s/d	-	El-El	70-90

- El sistema de almacenamiento en capacitores y supercapacitores está, al igual que en el caso del hidrógeno, todavía en un estado de desarrollo muy incipiente, por lo que requiere de un desarrollo considerable, tanto a nivel de diseño como de elementos
- La necesidad de alcanzar un estado de desarrollo lo suficientemente avanzado para conseguir una buena operatividad, así como una rentabilidad económica suficiente, hace que no se espere un nivel operativo adecuado antes de muchos años

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
Pb-ácido	0.15	0.29	ambiente	En uso	0.02	El-El	70-92
NiMH	0.11-0.29	0.50-1.08	ambiente	En uso	0.01	El-El	66
Litio	0.36-0.95	0.90-2.23	ambiente	En uso	0.009	El-El	100

- Las baterías de plomo-ácido son sistemas muy desarrollados, datan del siglo XIX, en tanto que las baterías de NiMH y litio datan de finales del siglo XX
- A pesar de su menor tiempo de vida, las baterías de NiMH y litio tienen la misma capacidad de uso que las baterías de plomo-ácido

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
Pb-ácido	0.15	0.29	ambiente	En uso	0.02	El-El	70-92
NiMH	0.11-0.29	0.50-1.08	ambiente	En uso	0.01	El-El	66
Litio	0.36-0.95	0.90-2.23	ambiente	En uso	0.009	El-El	100

- La densidad de energía de las baterías es bastante inferior a las de los sistemas líquidos (gasolina, gasóleo o GLP) y muchísimo más baja a la del hidrógeno
- La densidad energética en base de masa es mucho menor que en base volumen, entre 50% y 33%, lo que indica que operan mejor en forma líquida

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
Pb-ácido	0.15	0.29	ambiente	En uso	0.02	El-El	70-92
NiMH	0.11-0.29	0.50-1.08	ambiente	En uso	0.01	El-El	66
Litio	0.36-0.95	0.90-2.23	ambiente	En uso	0.009	El-El	100

- La eficiencia de las baterías suele ser muy elevada, entre las mayores de los sistemas de conversión
- Las baterías de litio tienen prácticamente una eficiencia ideal, debido su configuración, mientras que las baterías de plomo-acido y NiMH, aunque presentan una eficiencia muy elevada no alcanzan valores tan altos

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
Pb-ácido	0.15	0.29	ambiente	En uso	0.02	El-El	70-92
NiMH	0.11-0.29	0.50-1.08	ambiente	En uso	0.01	El-El	66
Litio	0.36-0.95	0.90-2.23	ambiente	En uso	0.009	El-El	100

- Todas las baterías pueden usarse a temperatura ambiente, lo que favorece su implantación en los vehículos sin necesidad de sistemas de adaptación térmico
- El coste de la energía generada en baterías es el más bajo de todos los sistemas de almacenamiento, únicamente comparable con el de hidrógeno

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

- Los sistemas de almacenamiento mecánico tienen un bajo poder energético, tanto en densidad másica como volumétrica
- Su rendimiento es muy elevado, de los más altos en cualquier transformación energética
- El coste de generación de la energía es, asimismo, muy bajo, posiblemente de los más bajos de todas las fuentes de energía que se utilizan para vehículos eléctricos

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

- Los principales sistemas de almacenamiento mecánico que se emplean en vehículos eléctricos son los discos de inercia, aunque los mecanismos de freno regenerativo también son empleados de manera bastante usuales

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
Disco inercia	0.05	0.4	ambiente	En uso	0.05	Mch-El	80
Disco comp.	0.05	0.15	ambiente	En uso	0.05	Mch-El	80

- Si consideramos los valores de densidad de energía proporcionados podemos observar que son los más bajos de todos los sistemas, especialmente en base volumétrica
- Estos bajos valores son debidos a que la mayor parte de la energía no es recuperable bajo forma eléctrica debido a las pérdidas por efecto Joule

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
Disco inercia	0.05	0.4	ambiente	En uso	0.05	Mch-El	80
Disco comp.	0.05	0.15	ambiente	En uso	0.05	Mch-El	80

- Las eficiencias, sin embargo, son comparables a las de las baterías, las más altas de todos los sistemas de almacenamiento
- El coste de la energía generada es también muy reducido, por debajo de cualquier otro sistema de almacenamiento excepto baterías

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
Disco inercia	0.05	0.4	ambiente	En uso	0.05	Mch-El	80
Disco comp.	0.05	0.15	ambiente	En uso	0.05	Mch-El	80

- Pueden operar a temperatura ambiente, lo que los hace muy útiles en vehículos eléctricos, sin necesidad de adaptaciones ni equipos adicionales
- Su elevado nivel de desarrollo hace que sean de uso común hoy en día

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

- Los sistemas de almacenamiento neumático no están muy desarrollados para vehículos de tracción, específicamente eléctricos, por la necesidad de sistemas de transformación intermedia de la energía potencial de presión en energía eléctrica, que presentan dificultades para sistemas de potencia como en automóviles

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
Aire comp.	0.2-2	2	20-1000	En uso	0.3	Mch-El	50

- Las densidades energéticas, en masa y volumen, de los sistemas neumáticos no son muy elevadas, comparables a las de las baterías
- La eficiencia es aceptable, con un valor intermedio entre los sistemas electroquímicos de baterías y supercapacitores, y los sistemas de almacenamiento líquido

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
Aire comp.	0.2-2	2	20-1000	En uso	0.3	Mch-El	50

- Uno de los principales inconvenientes es la necesidad de trabajar a elevadas presiones, lo que obliga a disponer de recipientes muy resistentes, así como tener que operar, en ocasiones, a temperaturas muy por encima de la temperatura ambiente
- Sin embargo, el nivel de desarrollo está tan maduro que permite su uso y aplicación de manera inmediata

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

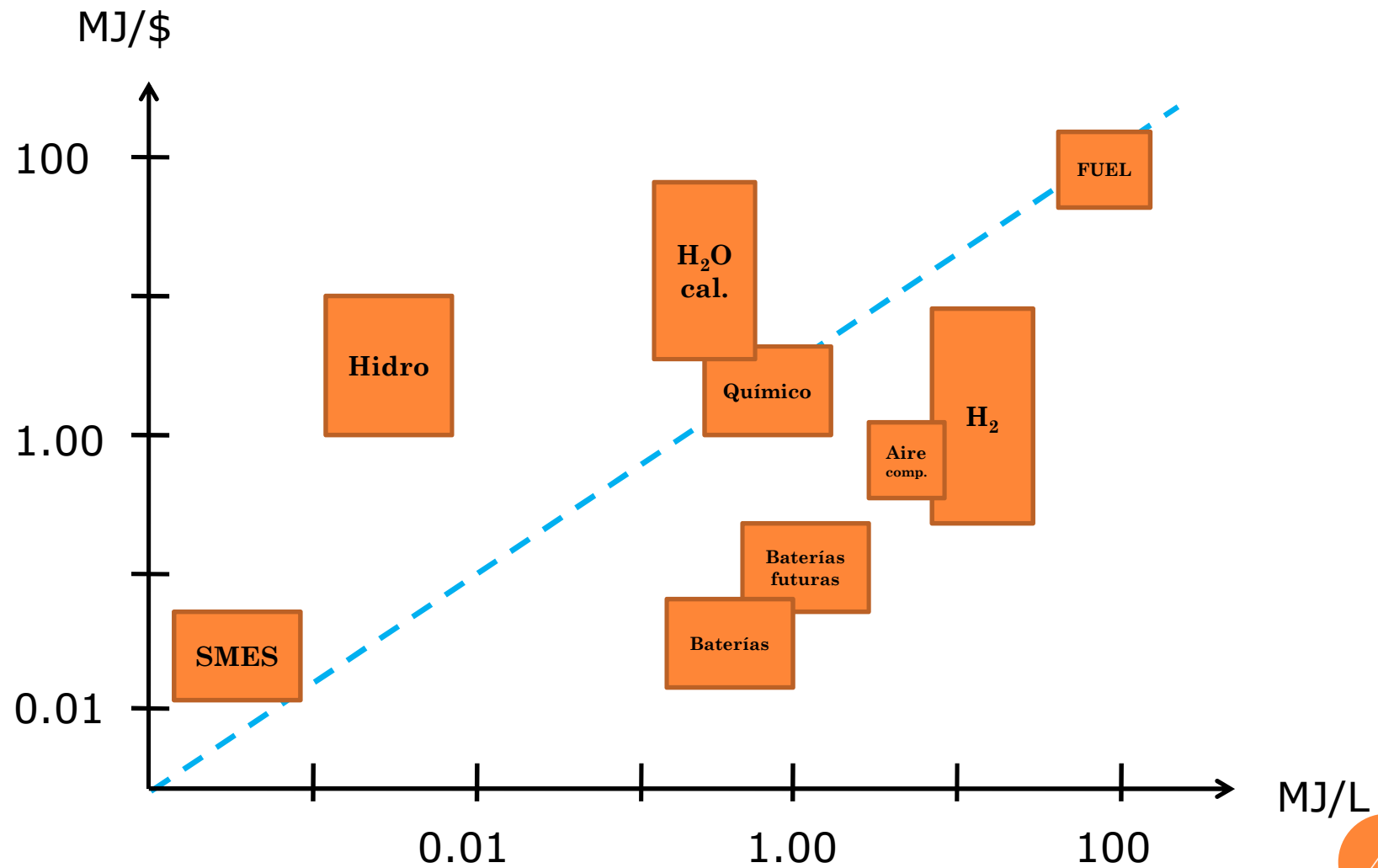
Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
Aire comp.	0.2-2	2	20-1000	En uso	0.3	Mch-El	50

- El coste de la energía generada está por encima de los valores para baterías, supercapacitores, dispositivos mecánicos e incluso sistemas de hidrógeno, pero muy por debajo de los sistemas convencionales de almacenamiento líquido (GLP, gasóleo o gasolina)

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

- En la gráfica siguiente se muestra un estudio comparativo de los costes de la energía, así como de la capacidad de generación de energía, para distintos tipos de sistemas de almacenamiento
- Es fácil observar que cuanto mayor sea la capacidad energética mayor es el coste, si bien esta regla no es completamente lineal (línea de tendencia marcada en azul, 1\$/l)
- Las baterías, actuales y futuras, y el hidrógeno se encuentran por debajo de la línea, en tanto que los sistemas hidráulicos están por encima

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO



SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

- Si realizamos un estudio comparativo a nivel global entre todos los sistemas de almacenamiento analizados (ver tabla adjunta) podemos concluir lo siguiente:
 1. Los sistemas de almacenamiento líquido (gasolina, gasóleo y GLP) proporcionan la mayor densidad de energía tanto en base másica como volumétrica. Esto representa una ventaja en el caso de vehículos eléctricos porque el sistema de almacenamiento ocupa poco espacio y tiene poco peso para generar la misma cantidad de energía

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

2. Las baterías se sitúan en un nivel intermedio en cuanto a capacidad energética, siendo una alternativa viable, aunque menos efectiva, para los vehículos eléctricos
3. Casi todos los sistemas pueden trabajar a temperatura ambiente, salvo los capacitores y supercapacitores, y el hidrógeno en forma líquida
4. Igualmente, salvo los capacitores y supercapacitores, y el hidrógeno, el resto de sistemas tiene una tecnología lo suficientemente desarrollada como para ser utilizada de forma inmediata sin necesidad de grandes adaptaciones o sistemas adicionales

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

5. Desde un punto de vista económico, el sistema menos rentable es el de almacenamiento líquido (gasolina, gasóleo y GLP), mientras que las baterías, hidrógeno, sistemas neumáticos y mecánicos tienen valores muy bajos en el coste de generación de la energía
6. Igualmente, la mayor eficiencia se consigue en baterías, capacitores y supercapacitores, hidrógeno y sistemas mecánicos, en tanto que en sistemas de almacenamiento líquido y neumáticos esta eficiencia es sensiblemente inferior

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Sistema	Densidad (MJ/kg)	Densidad (MJ/L)	T _{op} (°C)	Operatividad	Coste (MJ/\$)	Tipo conv.	Eficiencia (%)
Gasóleo	43	39	ambiente	En uso	200	Ch-W	30
GLP	44	39	ambiente	En uso	110	Ch-W	40
H ₂ (g)	140	1.7	-253 a -30	10 años	0.1-10	El-Ch	60
Capacitor	-	10 ⁻⁶	-18 a 45	s/d	-	El-El	70-90
Supercond. magn.	-	10 ⁻³	-18 a 45	s/d	-	El-El	70-90
Pb-ácido	0.15	0.29	ambiente	En uso	0.02	El-El	70-92
NiMH	0.11-0.29	0.50-1.08	ambiente	En uso	0.01	El-El	66
Litio	0.36-0.95	0.90-2.23	ambiente	En uso	0.009	El-El	100
Disco inercia	0.05	0.4	ambiente	En uso	0.05	Mch-El	80
Disco comp.	0.05	0.15	ambiente	En uso	0.05	Mch-El	80
Aire comp.	0.2-2	2	20-1000	En uso	0.3	Mch-El	50

FUENTES DE ENERGÍA

- Fuentes de energía: suministro continuo y sistemas de almacenamiento. Características y propiedades. Ventajas e inconvenientes
- **Energías no contaminantes: tipos y características**

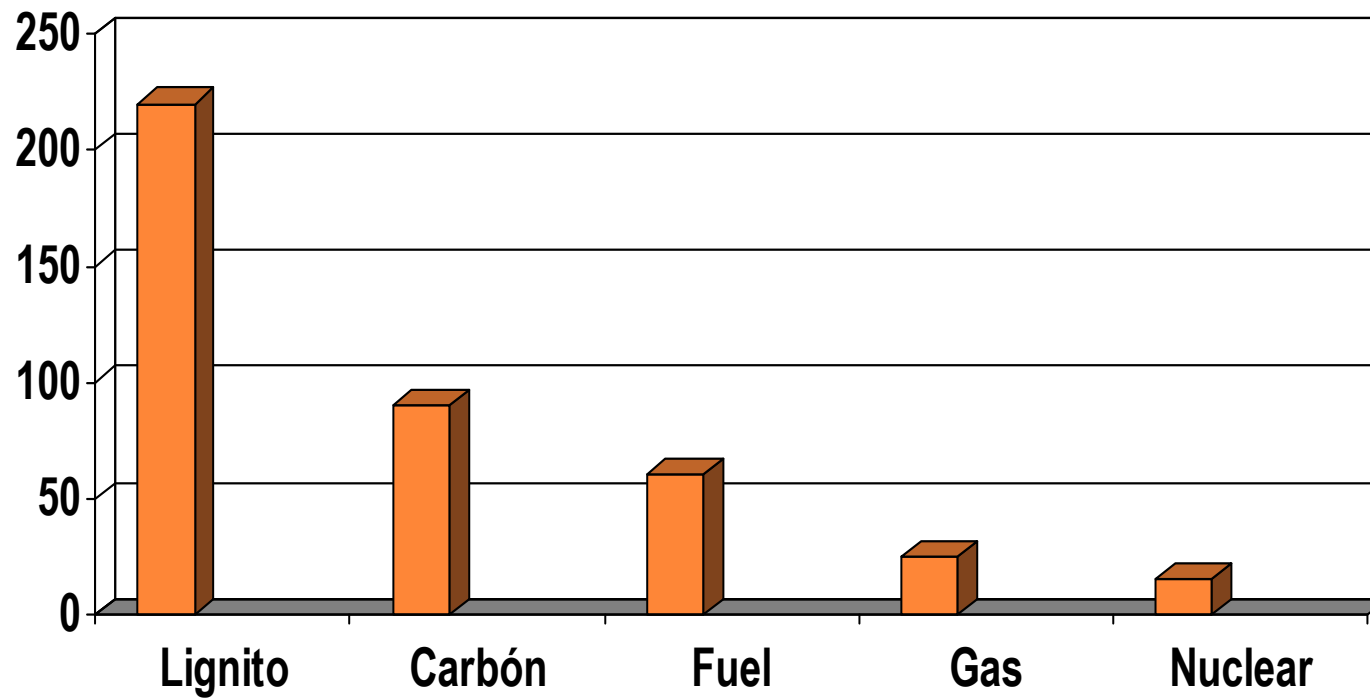
ENERGÍAS NO CONTAMINANTES

- En general, cuando se habla de energías no contaminantes se está asumiendo que no existen emisiones de GEI hacia la atmósfera
- Esta afirmación implica que, en la actualidad, no se pueda decir que existen “energías no contaminantes”, puesto que la fabricación de los elementos y componentes de los sistemas de energía no contaminante se lleva a cabo en industrias que utilizan combustibles fósiles, que sí son contaminantes, por lo que es necesario tener en cuenta la “contaminación residual” generada en el proceso de fabricación del sistema

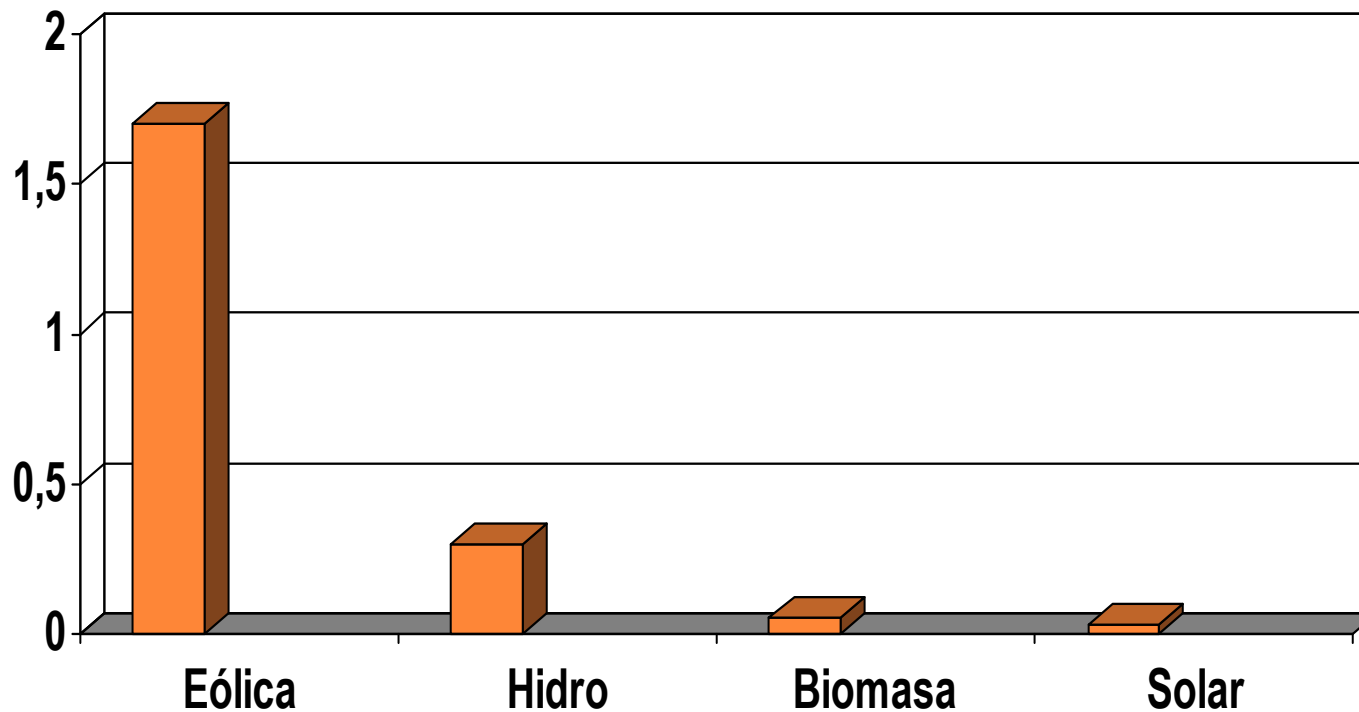
ENERGÍAS NO CONTAMINANTES

- Desde un punto de vista comparativo podemos decir, sin embargo, que el grado de contaminación ambiental generado por este tipo de energías, aún teniendo en cuenta la contaminación residual, es muchísimo menor que las fuentes convencionales, por lo que se puede afirmar, a nivel comparativo, que estas energías **NO SON CONTAMINANTES**
- Los diagramas que se muestran a continuación dan fe de esta afirmación

NIVEL COMPARATIVO DE EMISIONES (ENERGÍAS CONVENCIONALES)



NIVEL COMPARATIVO DE EMISIONES (ENERGÍAS RENOVABLES)

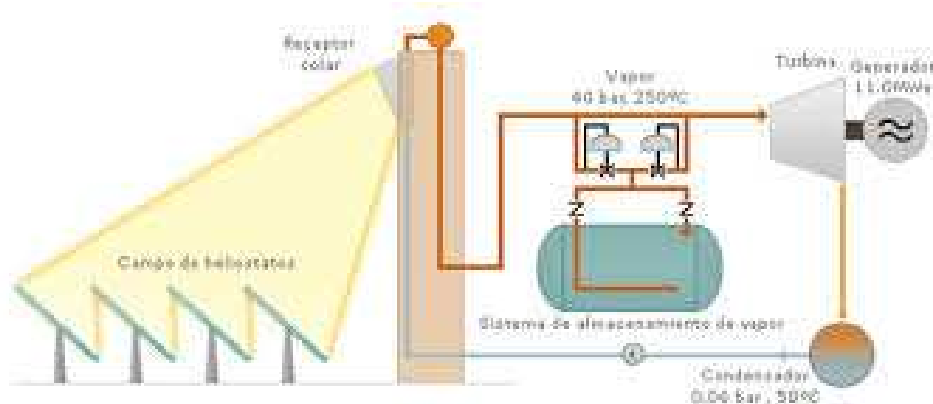


ENERGÍAS NO CONTAMINANTES

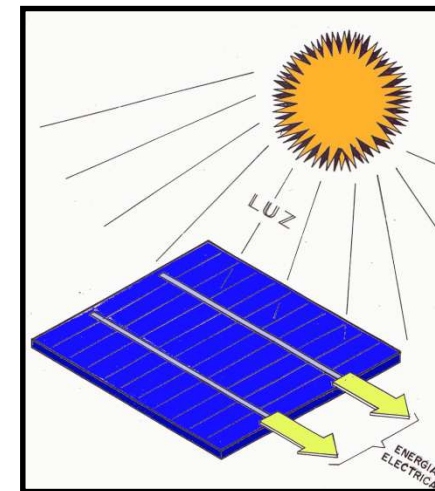
- Se puede apreciar, por tanto, que el impacto es 100 veces menor en energías renovables que cuando se utilizan fuentes convencionales
- Por tanto, si se trata de minimizar el impacto sobre el medio ambiente una política responsable y eficaz será la de utilizar fuentes de energía no contaminantes, como las renovables, para generar energía que permita alimentar el sistema de generación en el vehículo eléctrico

ENERGÍA SOLAR

- La energía solar permite proporcionar energía en forma de calor y electricidad, pudiendo el calor ser transformado, a su vez, en electricidad



Generación de electricidad por calor



Generación directa de electricidad

ENERGÍA SOLAR

- La generación directa de electricidad a partir de energía solar (conversión fotovoltaica) se realiza a partir de paneles fotovoltaicos
- Hoy en día hay distintas tecnologías de paneles, con distintas eficiencias, todas ellas muy desarrolladas y perfectamente aplicables a cualquier tipo de sistema
- Las tres tecnologías de paneles fotovoltaicos que se encuentran a nivel comercial son:
 - Panel de silicio monocristalino
 - Panel de silicio policristalino
 - Panel de silicio amorfo

ENERGÍA SOLAR

- La eficiencia de conversión varía de una tecnología a otra. Así:

Eficiencia de conversión		
Monocristalino	Policristalino	Amorfo
15% - 18%	10% - 12%	5% - 7%

- La eficiencia de conversión es importante, sobre todo en aplicaciones que requieren un tamaño reducido, como es el caso de un vehículo eléctrico

ENERGÍA SOLAR

- La eficiencia condiciona la cantidad de energía generada, a partir de un tamaño dado de panel y de un valor determinado de la insolación
- Si suponemos que disponemos de un valor medio de 500 W/m^2 de insolación, por cada m^2 de panel fotovoltaico tendríamos la siguiente potencia disponible

Potencia disponible (W)		
Monocristalino	Policristalino	Amorfo
75 -90	50 – 60	25 - 35

ENERGÍA SOLAR

- Si consideramos una superficie útil, en un vehículo eléctrico, de 4 – 6 m², la potencia que se podría obtener a partir de paneles fotovoltaicos sería:

Potencia disponible (W)		
Monocristalino	Policristalino	Amorfo
300 - 540	200 – 360	100 - 210

- Como se puede observar, estos valores son muy pequeños comparados con la potencia de un MCI

ENERGÍA SOLAR

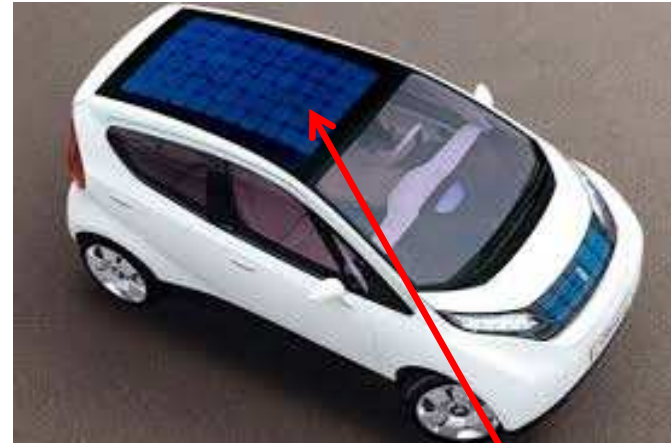
- La principal conclusión a la que llegamos es que la alimentación directa con un sistema de paneles fotovoltaicos, incluso los más eficientes como los de silicio monocristalino, resulta insuficiente para las necesidades energéticas de un vehículo eléctrico convencional, cuya potencia media está en torno a 10-20 kW
- La alternativa a esta aparente incompatibilidad del uso de sistemas fotovoltaicos como fuente de energía es su empleo como fuente de recarga de un sistema de almacenamiento eléctrico, sea una batería o un supercapacitor

ENERGÍA SOLAR

- Cuando el sistema fotovoltaico actúa como fuente de energía para la recarga de un almacenador eléctrico, existen dos posibilidades:
 - Sistema autónomo integrado
 - Sistema independiente externo
- El sistema autónomo integrado es aquél en el que el panel fotovoltaico forma parte de la estructura del vehículo y alimenta a una batería que, a su vez, suministra energía al motor
- El sistema independiente externo consiste en un bloque de paneles que proporcionan energía a una estación de recarga de la que se nutre el vehículo cuando necesita repostar energía eléctrica

ENERGÍA SOLAR

**Sistema autónomo
integrado**

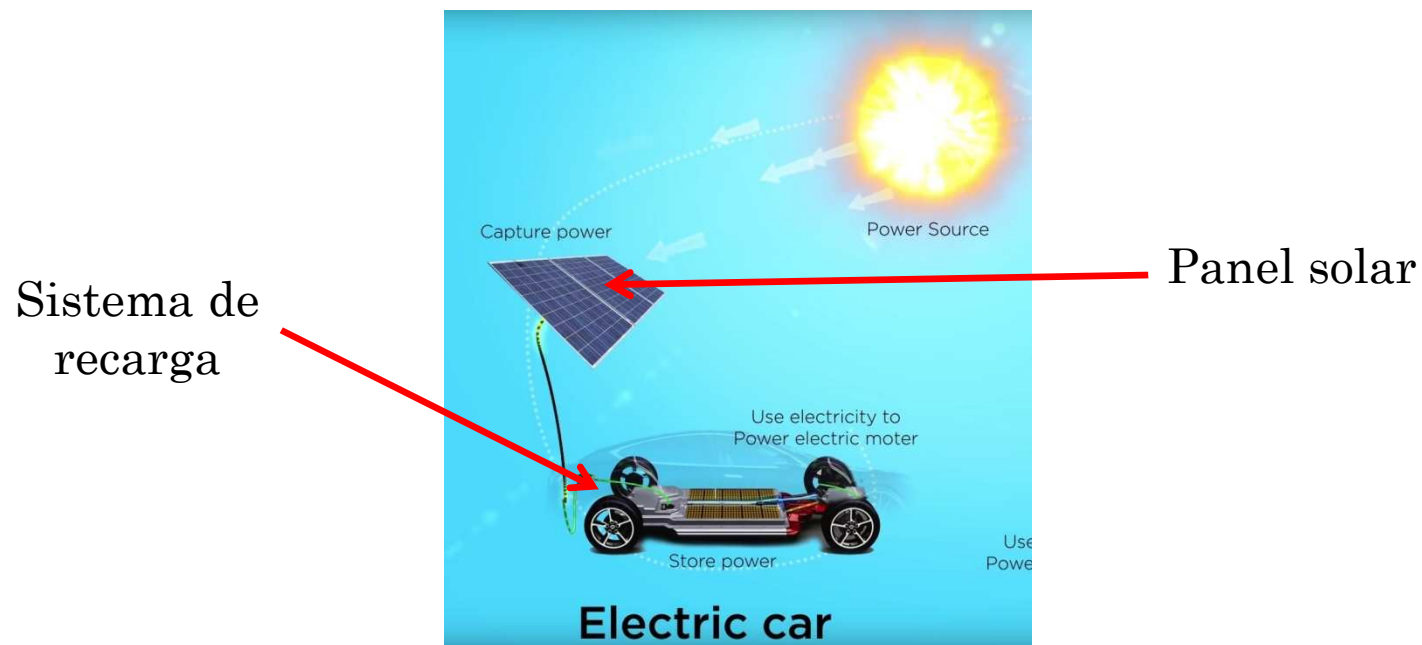


Panel solar

Sistema de
almacenamiento

ENERGÍA SOLAR

Sistema independiente externo



ENERGÍA SOLAR

- La generación de electricidad a partir de energía solar por conversión de calor (conversión termoeléctrica) se realiza a partir de centrales
- Hoy en día hay distintas tecnologías de centrales, con distintas eficiencias, todas ellas muy desarrolladas aunque son aplicables únicamente a sistemas de gran potencia
- Las tres tecnologías de centrales que se encuentran a nivel comercial son:
 - Centrales de captadores cilindro-parabólicos
 - Centrales de torre
 - Discos Stirling

ENERGÍA SOLAR

- El principal problema derivado del uso de la tecnología de conversión termoeléctrica es su tamaño, puesto que este tipo de instalaciones está pensado para grandes superficies, lo que las hace inviables en cuanto a su uso directo para vehículos eléctricos
- Como medida de verificación la siguiente tabla nos proporciona los tamaños habituales de estos sistemas

Superficie		
Central CSP	Central torre	Disco Stirling
150 Ha	150-320 Ha	120 m ²

ENERGÍA SOLAR

- Por otro lado, la tecnología de conversión termoeléctrica es rentable únicamente para grandes potencias, lo que tampoco resulta útil en aplicaciones directas para vehículos eléctricos, salvo en el caso de disco Stirling
- La tabla adjunta muestra los valores habituales de potencia generados por cada una de las tres tecnologías

Superficie		
Central CSP	Central torre	Disco Stirling
10-20 MW	10-50 MW	1-2 kW

ENERGÍA SOLAR

- Por tanto, los sistemas de conversión de energía termoeléctrica son únicamente utilizables como fuentes para cargar acumuladores en centros de recarga



ENERGÍA SOLAR

- La energía solar se considera una energía no contaminante puesto que una vez instalado el sistema no da lugar a emisiones de GEI ni produce residuos que puedan ser considerados peligrosos o nocivos para el medio ambiente

BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES

- Las baterías y supercondensadores, o supercapacitores, representan una de las mejores opciones como fuente de energía para alimenta un motor de un vehículo eléctrico



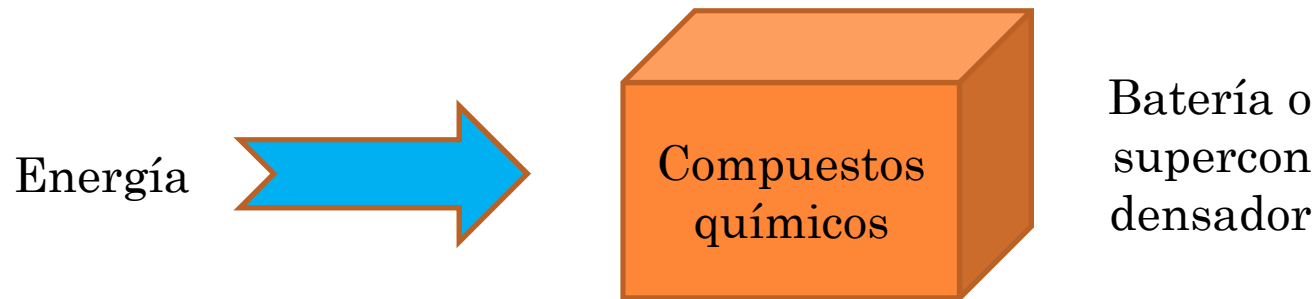
batería



supercondensador

BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES

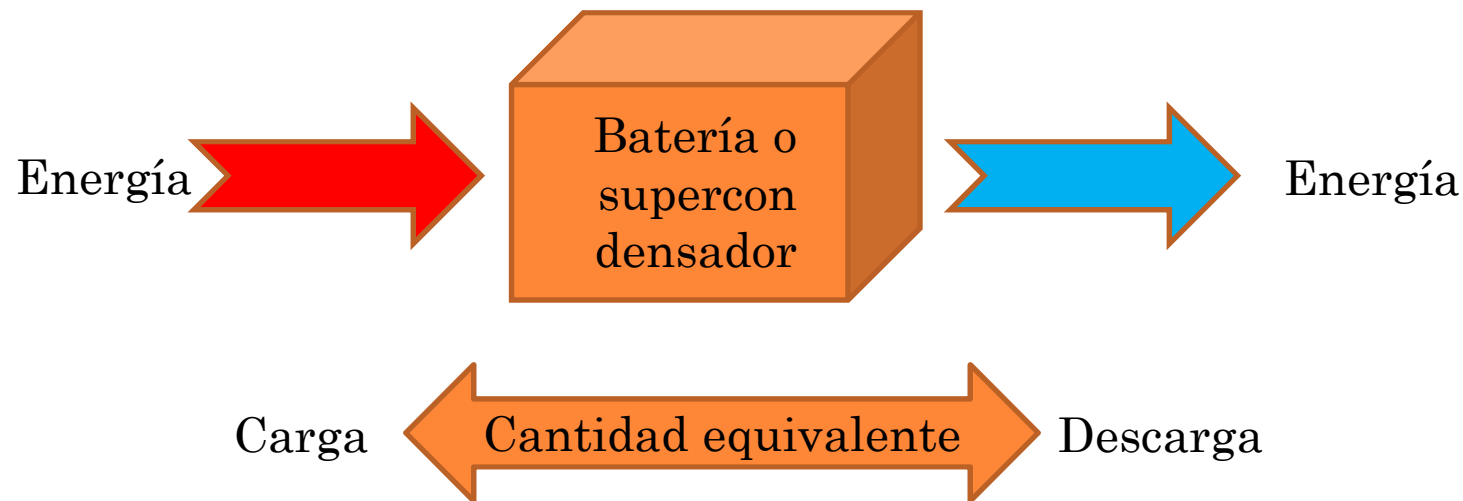
- En esencia, ambos sistemas son muy parecidos, puesto que almacenan energía en forma de carga eléctrica por medio de compuestos químicos



- Cada tipo de batería o supercondensador tiene un tipo distinto de compuestos químicos

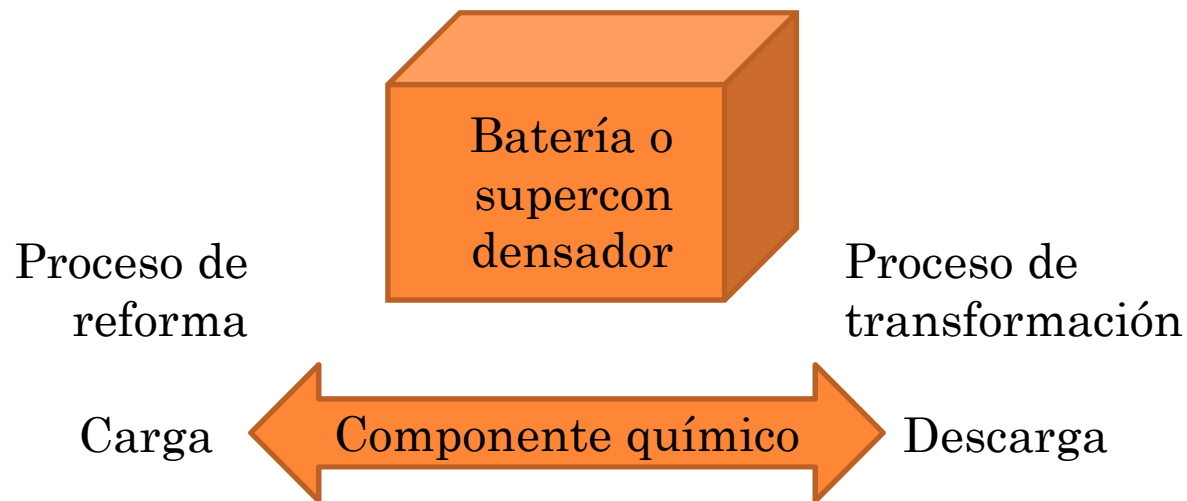
BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES

- El proceso de carga y descarga es reversible, esto es, lo que sucede en la carga es prácticamente lo opuesto a lo que ocurre en la descarga



BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES

- El combustible de una batería o supercapacitor es el componente químico que se transforma durante la descarga y se reforma en la carga



BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES

- La configuración de un supercondensador o de una batería es similar, y proporciona un determinado voltaje de operación, que es el valor de referencia para el sistema de almacenamiento eléctrico



BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES

- Si se cambia la configuración se cambia el voltaje
- Dado que el voltaje de supercapacitores o baterías es bajo y resulta insuficiente para un motor eléctrico, se pueden agrupar dos o más supercondensadores o baterías, para aumentar el voltaje
- La conexión debe ser tipo serie
- Si la intensidad de corriente resulta ser muy baja se pueden agrupar dos o más baterías, o dos o más supercondensadores para incrementar el valor de la corriente
- La conexión debe ser tipo paralelo

BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES

- Las baterías y supercondensadores no dan lugar a emisiones de GEI si bien contienen productos que pueden ser nocivos o peligrosos para el medio ambiente si no se reciclan o se procesan de manera adecuada

PILAS DE COMBUSTIBLE

- Las pilas de combustible (FC), al igual que las baterías, son una buena opción para la alimentación de energía de un vehículo eléctrico



Módulo de FC



FC



FC integrada en vehículo

PILAS DE COMBUSTIBLE

- Una pila de combustible es muy parecida en estructura y composición a una batería



Batería o
supercondensador



Módulo de FC

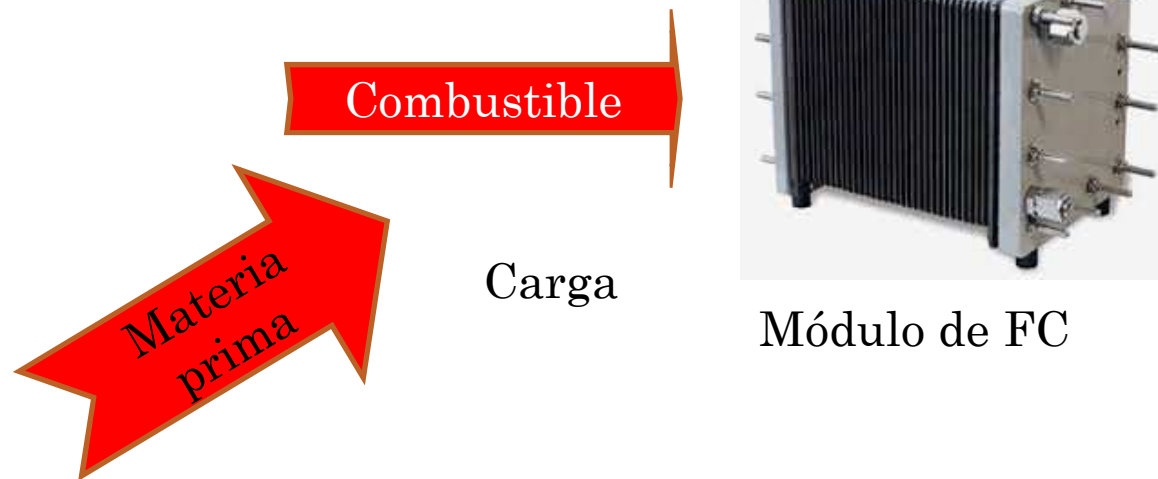
PILAS DE COMBUSTIBLE

- El proceso de carga y descarga no es reversible, como sucede en las baterías, sino que se necesita un combustible (hidrógeno) que alimente el proceso de generación de energía



PILAS DE COMBUSTIBLE

- El combustible se obtiene, durante el proceso de carga, a partir de una materia prima



PILAS DE COMBUSTIBLE

- Como en el caso de las baterías, la configuración determina el voltaje y la intensidad de corriente que proporcionan
- En general, el valor del voltaje suele ser muy bajo, por lo que es necesario agrupar pilas en serie para alcanzar el valor requerido en aplicaciones como motores para vehículos eléctricos

Módulo de FC



PILAS DE COMBUSTIBLE

- Análogamente, si la intensidad de corriente es muy reducida, se hace necesario agrupar pilas en paralelo para alcanzar el valor requerido



Módulo de FC

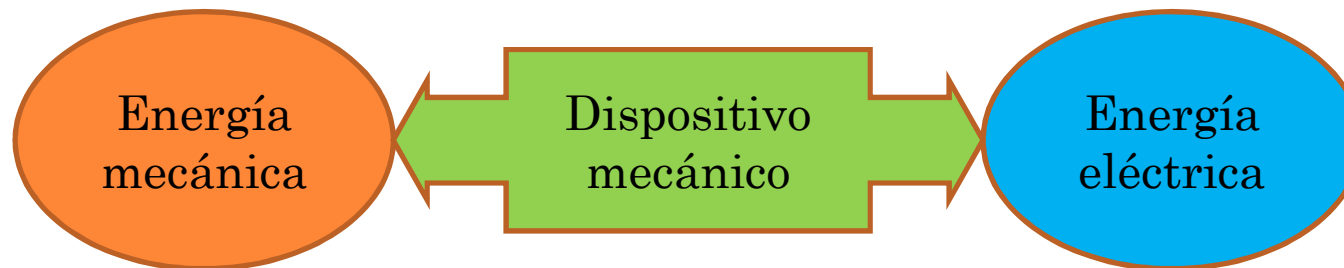
Módulo de FC

PILAS DE COMBUSTIBLE

- Las pilas de combustible no dan lugar a emisiones de GEI en caso que se trabaje con agua con fuente de producción del hidrógeno, si bien, al igual que las baterías, contienen productos que pueden ser nocivos o peligrosos para el medio ambiente si no se reciclan o se procesan de manera adecuada

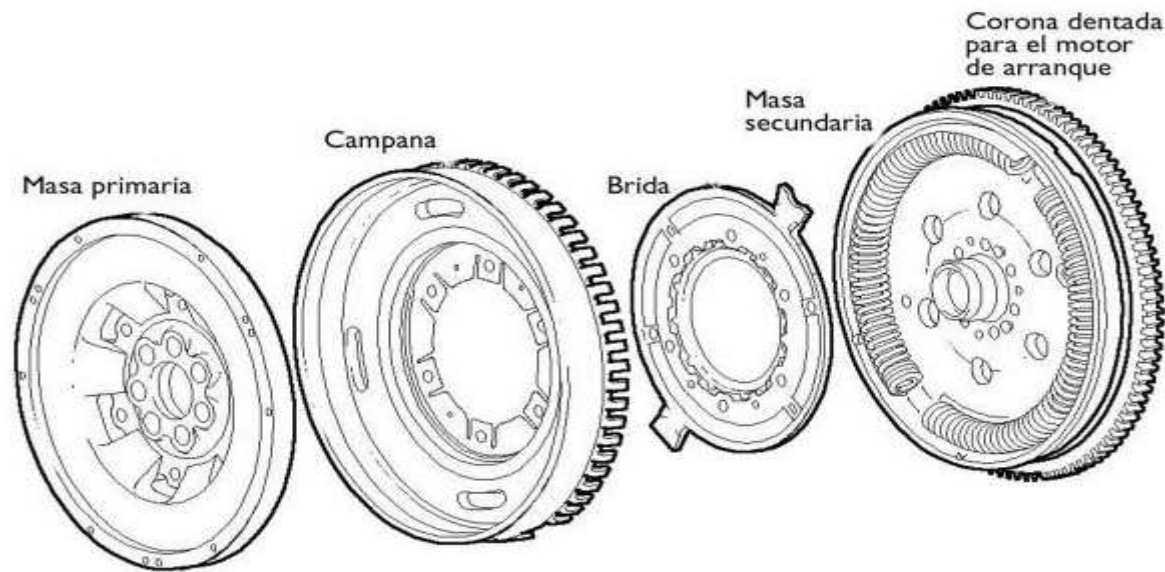
DISPOSITIVOS MECÁNICOS

- Aunque no son la principal fuente de energía en vehículos eléctricos, los dispositivos mecánicos si pueden representar una forma auxiliar de obtener energía eléctrica a partir de una conversión mecano-eléctrica



DISPOSITIVOS MECÁNICOS

- Los principales dispositivos mecánicos son los volantes de inercia, que almacenan energía mecánica de rotación y la convierten en energía eléctrica



DISPOSITIVOS MECÁNICOS

- La energía mecánica de un volante de inercia se obtiene del propio movimiento de rotación de eje motor, el cual está solidariamente unido al volante. Por tanto, no es necesaria ninguna fuente adicional de energía para dotar de energía mecánica el volante de inercia



DISPOSITIVOS MECÁNICOS

- La energía mecánica de un volante de inercia es tanto mayor cuanto mayor sea su masa, su tamaño y su velocidad de rotación
- En general, la energía almacenada se puede expresar de la forma

$$\xi = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{12} M R^2 \right) \omega^2 = \frac{1}{24} M R^2 \omega^2$$

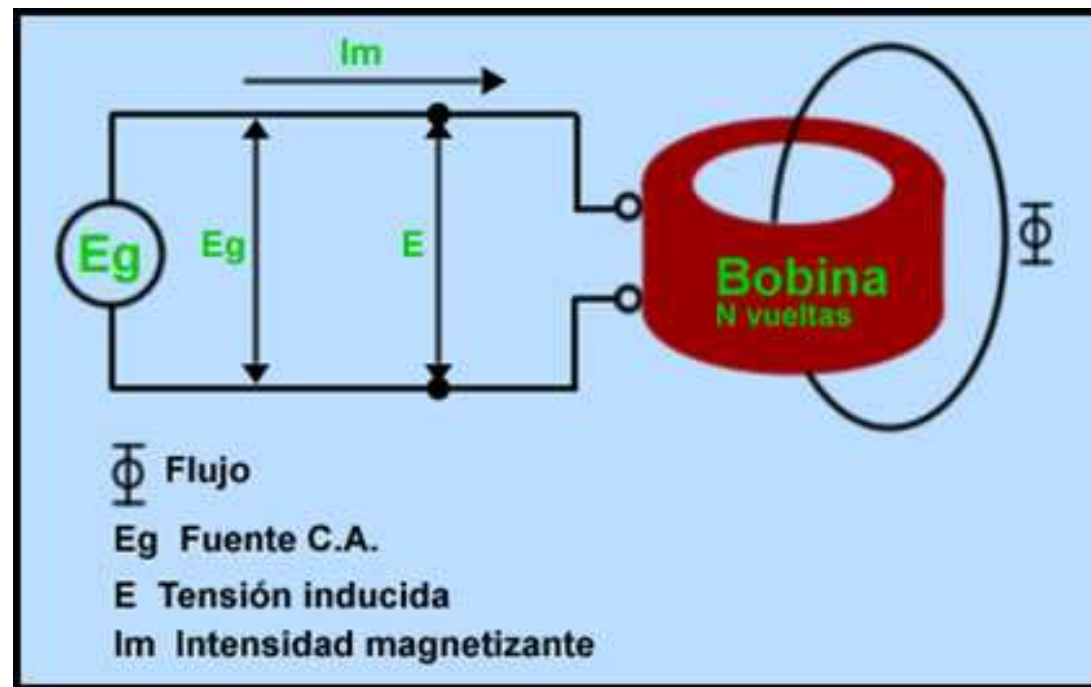
donde M es la masa del volante, R su radio, y ω la velocidad de rotación

DISPOSITIVOS MECÁNICOS

- En general, los volantes de inercia son elementos muy grandes y pesados, para poder almacenar gran cantidad de energía mecánica, pero eso los hace poco prácticos en vehículos eléctricos ya que el peso del volante reduce las prestaciones del vehículo especialmente a nivel de aceleración, obligando a incrementar la potencia si se quiere mantener la misma capacidad de aceleración
- En cualquier caso, un volante de inercia no es un elemento que genere emisiones de GEI, ni dé lugar a residuos peligrosos o nocivos para el medio ambiente

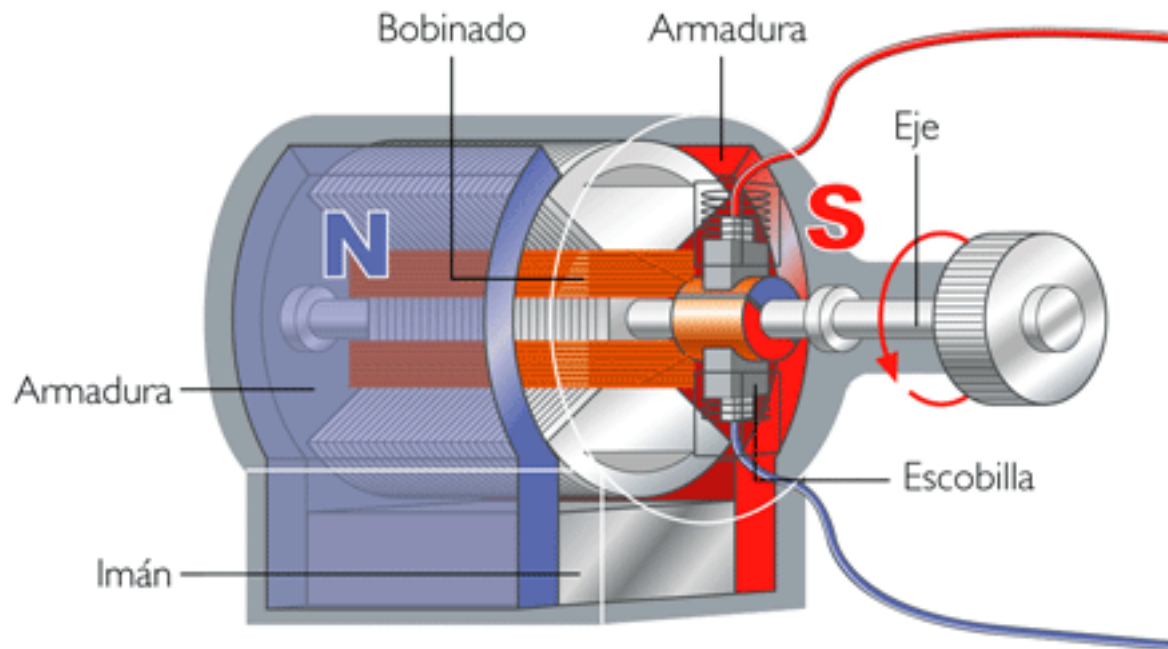
SISTEMAS DE INDUCCIÓN MAGNÉTICA

- Los sistemas de inducción magnética se basan en el principio de conversión en energía eléctrica de campos electromagnéticos



SISTEMAS DE INDUCCIÓN MAGNÉTICA

- Los elementos fundamentales de un sistema de inducción magnética son una bobina, o un imán permanente, y un elemento móvil que transmita la energía a un sistema de rotación



SISTEMAS DE INDUCCIÓN MAGNÉTICA

- La bobina o el imán permanente pueden ser fijos (estator) o móviles (rotor)
- El sistema se completa con una segunda bobina que puede ser igualmente fija (estator) o móvil (rotor)

