

# TEMA 7

## 1 Tecnologías emergentes

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

- **Sistema híbrido sin MCI: características y modo de operación**
  - Batería/supercondensador + Pila de Combustible
  - Batería/supercondensador + sistema solar FV
  - Pila de Combustible + sistema solar FV
  - Batería/supercondensador + Pila de Combustible + Sistema FV

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

- Actualmente se está investigando sobre nuevas configuraciones para vehículo eléctrico que permitan combinar dos o más fuentes de energía como solución a los problemas de potencia y energía que presentan los modelos actuales
- Estas soluciones novedosas buscan dotar a los vehículos de la suficiente autonomía sin perder prestaciones, velocidad y aceleración

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

- En esencia, el motor de un vehículo debe cumplir dos funciones, tener suficiente potencia y disponer de energía
- La potencia, como se ha visto, sirve para:
  - Compensar las fuerzas de fricción y aerodinámicas cuando el vehículo se desplaza a velocidad constante en llano, además de la componente tangencial del peso en rampas
  - Dotar de aceleración al vehículo cuando se quiere cambiar de velocidad
- La energía permite garantizar una cierta autonomía (distancia) y hacer funcionar los servicios auxiliares

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

- Si se quiere sustituir el MCI por un ME se hace necesario mantener la potencia y energía, las cuales se relacionan entre sí y con la autonomía
- Dado que el vehículo no dispone de una fuente ilimitada de energía la relación entre potencia, energía y autonomía debe alcanzar un punto óptimo, de manera que el aumento de una de ellas conlleva la reducción de otra o de las otras dos

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

<b>Potencia</b>	<b>Energía</b>	<b>Autonomía</b>
Elevada	Elevada	Reducida
Elevada	Media	Media
Elevada	Reducida	Reducida
Media	Elevada	Reducida
Media	Media	Media
Media	Reducida	Reducida
Reducida	Elevada	Elevada
Reducida	Media	Media
Reducida	Reducida	Reducida

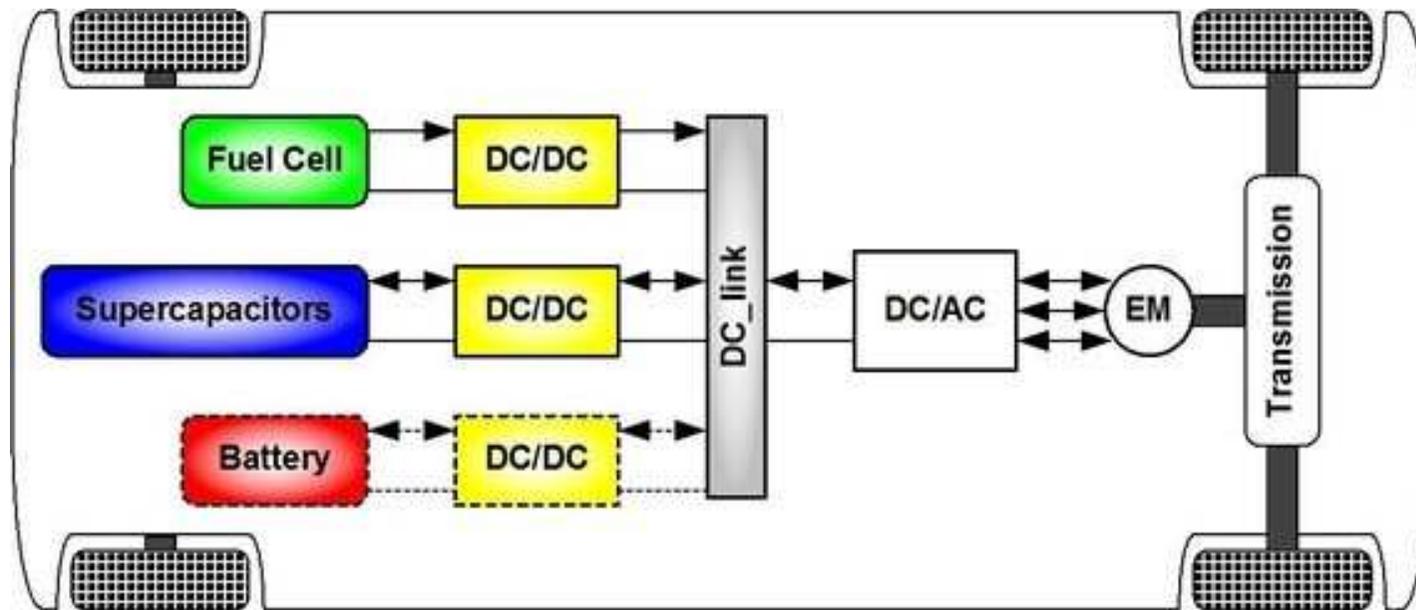
## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

- El uso de un ME puro obliga al uso de baterías, las cuales o proporcionan mucha energía y poca potencia o viceversa
- Si se usan celdas de combustible el problema es parecido, obtenemos bastante energía, pero una potencia limitada
- Una de las soluciones que la tecnología plantea es utilizar ambas fuentes de energía combinando una batería que proporcione potencia y una celda de combustible que aporte energía

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

- Una solución más interesante sería el uso de tres sistemas, batería, supercondensador y pila de combustible, tal y como se muestra en el esquema de la diapositiva siguiente
- En este sistema híbrido la pila de combustible aporta energía a lo largo de un período de tiempo bastante amplio, lo que incrementa la autonomía
- La batería permite aportar energía durante la conducción normal evitando el consumo de hidrógeno de la pila de combustible
- El supercapacitor es el responsable de proporcionar la potencia

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL



## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

- La configuración propuesta aporta ciertas ventajas con relación a un motor eléctrico puro, a saber:
  - Mayor autonomía a igualdad de potencia
  - Mayor potencia a igualdad de autonomía
  - Eliminación del riesgo de fallo del suministro de energía
  - Ausencia de dependencia de una fuente de recarga exterior por tiempo limitado
  - Mejora en la eficiencia global

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

### *Mayor autonomía a igualdad de potencia*

- Dado que la densidad de energía de una pila de combustible es mayor que la de una batería, para un tamaño equivalente, la pila de combustible proporciona mayor cantidad de energía
- Por otro lado, el uso de supercapacitores, como se ha visto, permite dotar de una elevada potencia al vehículo, de la que no se dispone con una batería eléctrica convencional (Pb, NiMH, litio, etc.)

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

### *Mayor potencia a igualdad de autonomía*

- En el caso de sustituir la batería, por una de tamaño más reducido y emplear un supercapacitor, la potencia obtenida es mayor
- La pérdida de autonomía que provoca el uso del supercapacitor, que tiene menor densidad de energía que la batería, es compensada por la mayor densidad de energía de la pila de combustible

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

### *Eliminación del riesgo de fallo del suministro de energía*

- Para asegurar este funcionamiento “seguro”, se puede utilizar parte de la energía de la batería para generar el hidrógeno que será necesario para hacer funcionar la pila de combustible
- De este modo, observamos que esta configuración actúa como si tratara de un sistema reversible, cuando hay exceso de energía en la batería ésta genera H<sub>2</sub>, y cuando la batería queda descargada se recarga desde la pila de combustible

NOTA: La autonomía, en cualquier caso, está limitada

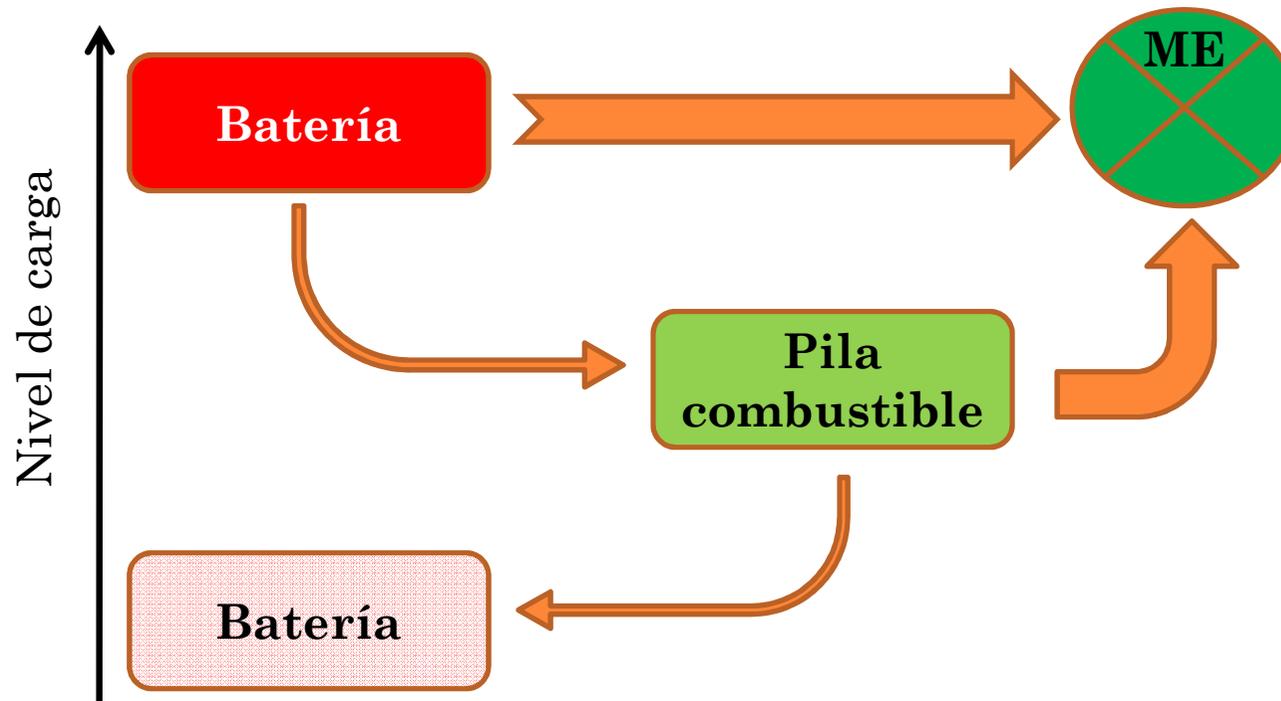
## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

### *Eliminación del riesgo de fallo del suministro de energía*

- La presencia de dos fuentes de energía, batería y pila de combustible, permite asegurar el suministro de manera constante, si bien limitada, dado que en caso que la batería se descargue completamente, la pila de combustible puede proporcionar energía tanto al ME como a los servicios auxiliares
- Por otra parte, la pila de combustible permitiría recargar la batería en caso de necesidad

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

*Configuración actuando como sistema reversible*



## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

### *Ausencia de dependencia de una fuente de recarga exterior por tiempo limitado*

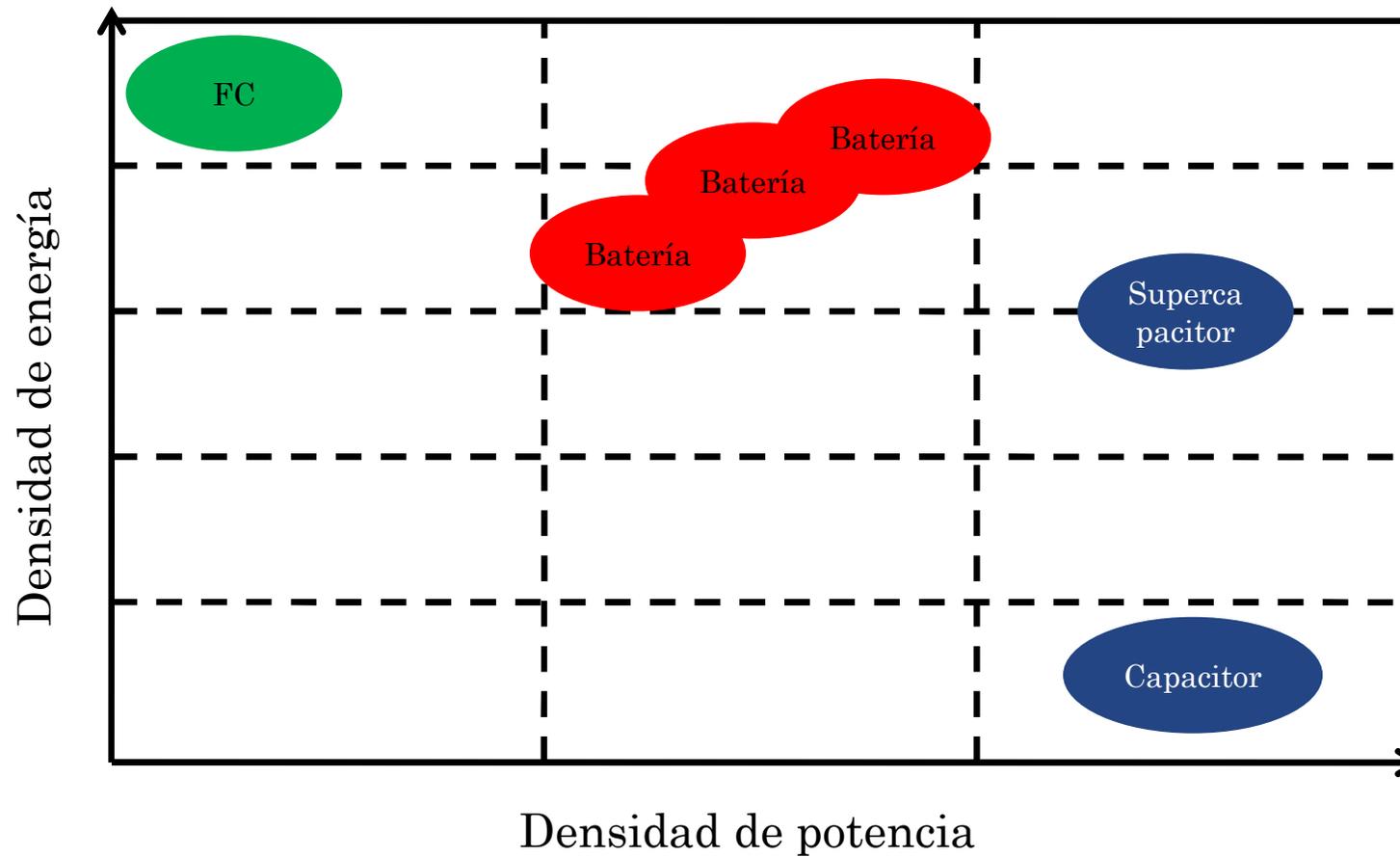
- La reversibilidad del sistema permite recargar la batería, o la pila de combustible, utilizando la fuente combinada, tal y como se ha mostrado en la diapositiva anterior
- Si bien es cierto que esta modalidad es limitada, permite que el vehículo funcione durante un cierto tiempo sin necesidad de recurrir a una fuente de suministro energético exterior, lo que proporciona una mayor fiabilidad al sistema, especialmente en lo relativo a ausencia de fuentes externas de recarga

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

## *Mejora en la eficiencia global*

- La eficiencia de cada uno de los sistemas que intervienen en la configuración híbrida depende, en gran medida, de su capacidad de generar energía y potencia
- Si se considera que el tamaño y el peso de los sistemas, batería, supercapacitor o pila de combustible, están limitados, es importante que un sistema proporcione una alta capacidad de potencia o energía en un momento determinado
- La gráfica que se muestra nos indica cuál es la respuesta frente a la potencia y energía de cada uno de estos tres tipos de sistema

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

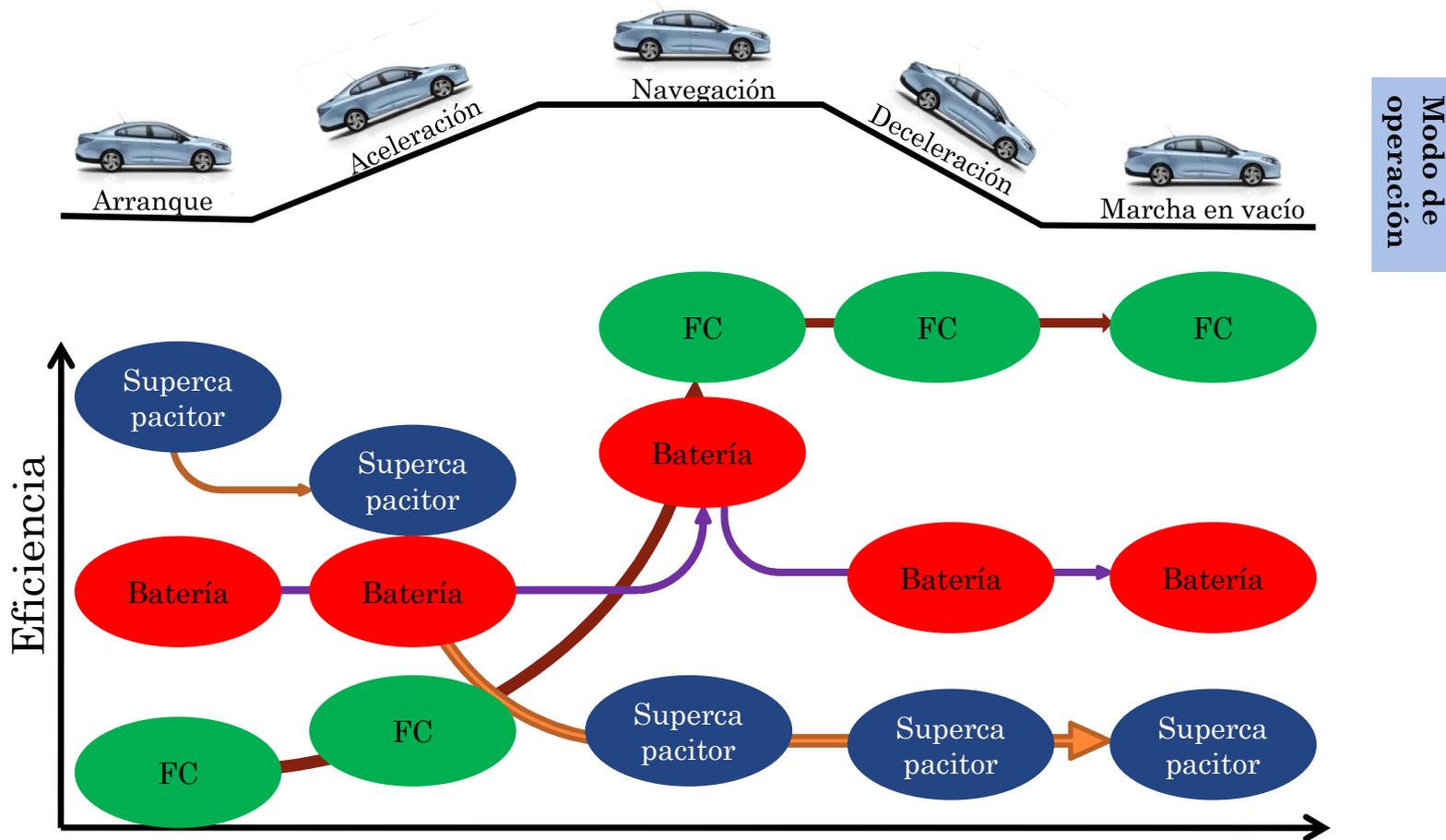


# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

## *Mejora en la eficiencia global*

- Dado que el sistema opera en el punto óptimo de trabajo de cada una de las fuentes, la eficiencia global del sistema aumenta, reduciéndose el consumo y limitando el gasto de energía
- Debido a sus características, los supercapacitores funcionan mejor en períodos donde se exigen una mayor potencia, arranque y aceleración, en tanto las baterías operan mejor cuando las exigencias de potencia disminuyen
- Las pilas de combustible, por otra parte, son buenas en períodos donde la aceleración es mínima

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL



## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

- Los valores típicos de eficiencia de cada una de las fuentes se expresan en la siguiente tabla

Sistema	Eficiencia
Batería Pb-ácido	65-92
Batería NiMH	66
Batería Li-ion	80-90
Supercapacitor	90
Pila de combustible	80-90

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

- En función de los valores proporcionados, se puede realizar un análisis comparativo entre un sistema eléctrico a partir de una fuente única y otro con un sistema híbrido de configuración como la propuesta, con dos o tres fuentes combinadas
- Para llevar a cabo dicho análisis tomaremos cada uno de los cinco modos de operación definidos, y aplicaremos las eficiencias, densidades de energía y potencia de cada una de las fuentes de energía, por separado y combinadamente, para establecer la ganancia de una configuración respecto a la otra

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

- Dado que cada tipo de batería tiene distintas características, tomaremos la de mejores, Li-ion, para hacer el estudio
- En este caso, los valores de operación son:

Sistema	Densidad de energía (Wh/kg)	Densidad de potencia (W/kg)	Eficiencia (%)
Supercapacitor	15	5000	90
Batería	200	900	85
Pila de combustible	500	25	85

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

- Por otro lado, es preciso especificar las condiciones de operación bajo las cuales se va a realizar el estudio comparativo
- Supondremos que el vehículo está equipado con un sistema de arranque automático Start/stop
- Consideramos los tiempos normales de operación en un trayecto de tres tipos, urbano, mixto y carretera
- Asumiremos distancias recorridas estándar para cada uno de los trayectos y velocidades medias también estándar para cada recorrido
- Por último, tomaremos como potencia media del vehículo un motor de 75 kW (102 CV) y masa 1 Tm

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

- **Recorrido urbano**
  - Distancia media diaria: 30 km
  - Número de paradas en el trayecto: 10
  - Velocidad media: 25 km/h
  - Tiempo medio arranque: 3 segundos
- **Recorrido mixto**
  - Distancia media diaria: 70 km
  - Número de paradas en el trayecto: 8
  - Velocidad media: 60 km/h
  - Tiempo medio arranque: 3 segundos
- **Recorrido en carretera**
  - Distancia media: 250 km
  - Número de paradas en el trayecto: 4
  - Velocidad media: 90 km/h
  - Tiempo medio arranque: 3 segundos

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

- Con estos datos, se tiene

	Arranque	Aceleración	Navegación	TOTAL	F.E.
SC	3.04	21449.12	5145.34	26597.50	12.29
B	15.75	1794.11	416.17	2226.03	1.03
FC	564.73	3994.19	366.89	4925.81	2.28
SC+B	3.04	1794.11	416.17	2213.32	1.02
SC+FC	3.04	3994.19	366.89	4364.12	2.02
B+FC	15.75	1794.11	366.89	2176.75	1.01
SC+B+FC	3.04	1794.11	366.89	2164.04	1.00

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

### ○ Cálculos

$$C_{arr} = \frac{(N+2)P_{arr}}{\eta} \left( \frac{1}{\rho} + \frac{t_{arr}}{v} \right)$$

$$C_{ac} = \frac{(N+2)mv_m^2}{\eta} \left[ \frac{1}{2v} + \frac{(C_x + C_f)}{\rho t_{ac}} \right]$$

$$C_{nav} = \frac{ma}{\eta} \left[ \frac{d}{v} + \frac{v}{\rho} (C_x + C_f) \right]$$

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

- Podemos ver que la combinación más favorable es la que utiliza los tres sistemas, con una mejora del 3% respecto al uso de baterías
- En el caso de usar sistemas híbridos binarios, la mejor combinación es batería y pila de combustible que presenta un ahorro del 2%, en tanto el uso de batería y supercapacitor ahorra 1%
- No es recomendable el uso de supercapacitor y pila de combustible porque tiene un consumo mayor, del orden del doble
- El uso de baterías únicamente también representa una opción interesante, con un consumo 3% mayor

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

- El principal problema que se deriva de la combinación de dos o más sistemas es la complejidad en el diseño y el mayor coste
- El uso de sistemas híbridos binarios, dos fuentes, o ternarios, tres fuentes, requiere el empleo de un sistema de control electrónico muy sofisticado, que encarece notablemente el coste de la instalación
- En tanto no progrese la tecnología y se reduzcan los costes de estos sistemas de control y de los elementos de conexión entre fuentes y motor, los sistemas híbridos no resultarán competitivos

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

- **Sistema híbrido sin MCI: características y modo de operación**
  - Batería/supercondensador + Pila de Combustible
  - Batería/supercondensador + sistema solar FV
  - Pila de Combustible + sistema solar FV
  - Batería/supercondensador + Pila de Combustible + Sistema FV

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA

- El uso de un sistema híbrido, sea binario o ternario, que emplee supercapacitores, baterías y/o pilas de combustible requiere un proceso de recarga del combustible
- En el caso de baterías y supercapacitores este proceso de recarga se produce a partir de una fuente de corriente, generalmente externa, como es la red eléctrica convencional
- En el caso de las pilas de combustible se necesita una fuente de hidrógeno, que es proporcionada a partir de una reserva de hidrocarburos, como en el MCI, o de un tanque de hidrógeno

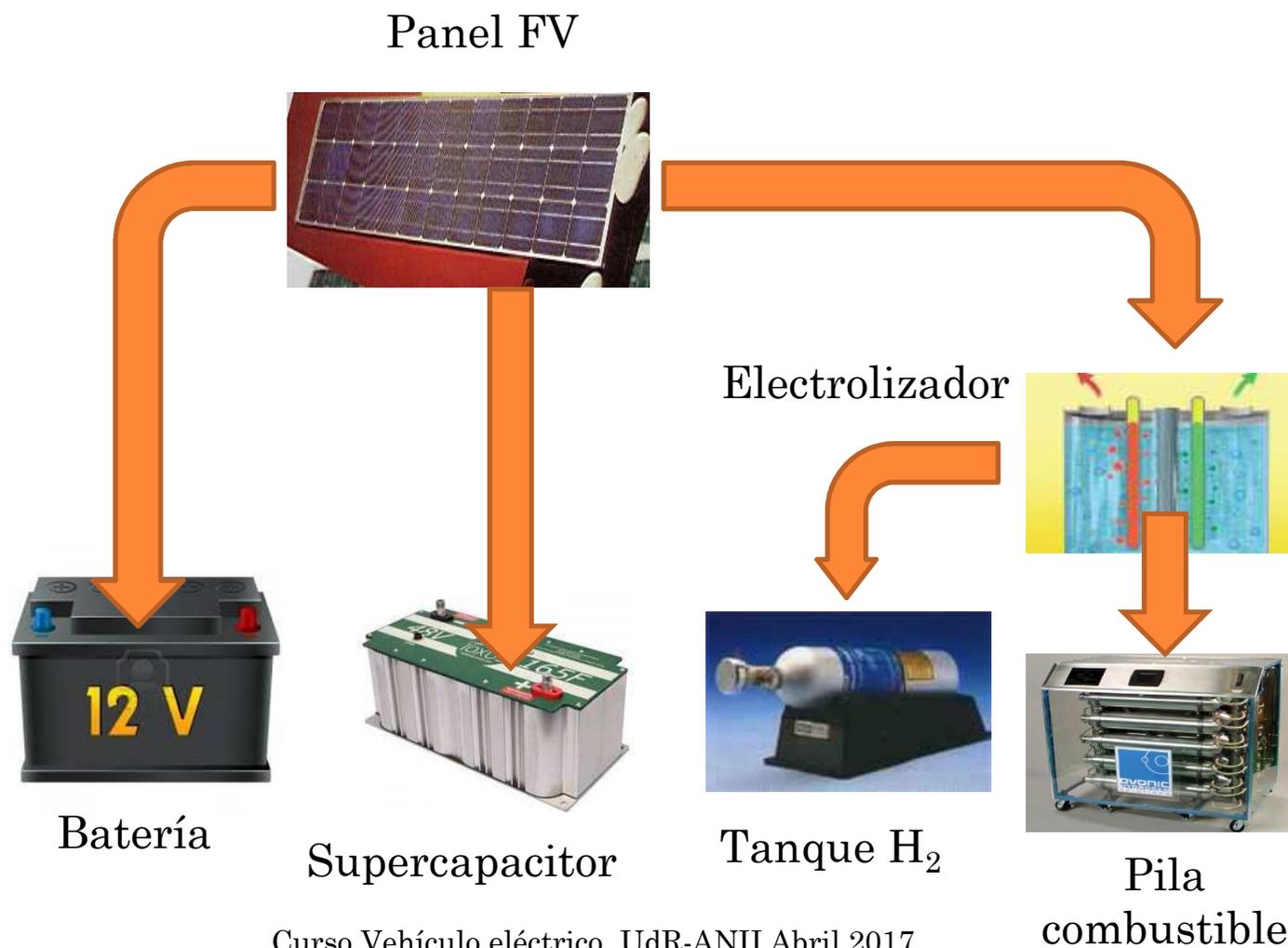
## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA

- La necesidad de un proceso de recarga desde un sistema externo reduce la autonomía y obliga a “repostar” periódicamente en una “estación de recarga”
- Una solución a este problema sería disponer de una fuente de energía asociada al vehículo que formara parte de su estructura y se desplazara con el propio vehículo
- Un ejemplo de este tipo de fuente es la energía solar fotovoltaica

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA

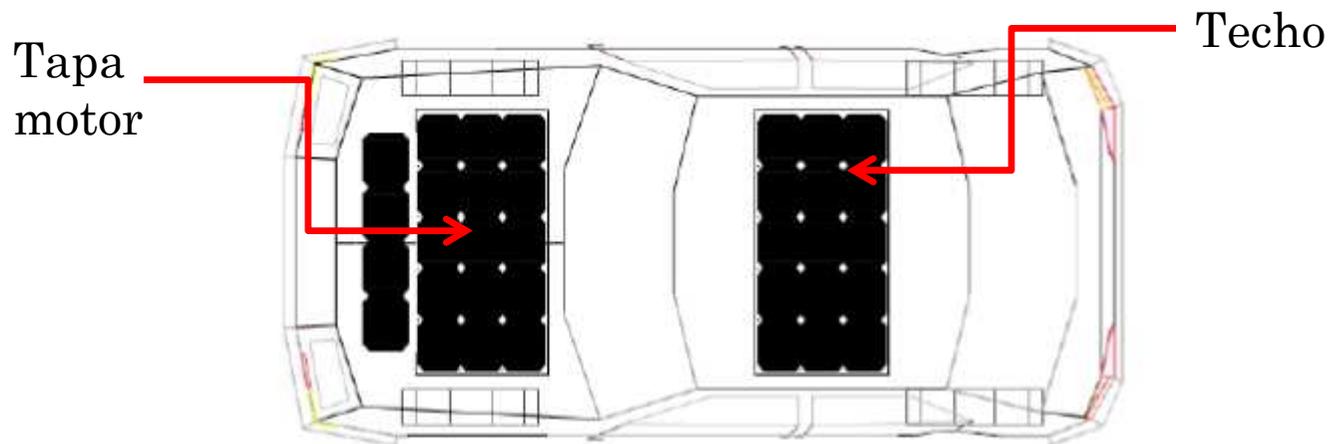
- Los paneles fotovoltaicos se caracterizan por generar energía eléctrica en forma de corriente a un determinado voltaje a partir de la luz solar
- La corriente eléctrica generada puede servir para recargar de forma directa un supercapacitor o una batería
- La corriente de los paneles también puede ser utilizada para generar hidrógeno por electrólisis en un electrolizador. El hidrógeno así generado puede alimentar una pila de combustible o ser almacenado para su uso posterior

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA



## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA

- Los paneles fotovoltaicos pueden integrarse en la estructura del vehículo, preferiblemente sobre el techo del mismo aunque también se pueden ubicar sobre la tapa del compartimento motor



## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA

- Los paneles fotovoltaicos pueden suministrar energía de forma continua a un vehículo eléctrico siempre que haya iluminación solar que incida sobre ellos
- Los principales problemas que se derivan del uso de los paneles fotovoltaicos son la intermitencia de la luz solar y la escasa eficiencia energética de la conversión fotovoltaica
- Por regla general, la luz solar no dura más de 12 h en media diaria a lo largo del año, en tanto que la eficiencia de un panel FV no supera el 18%

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA

- Estos problemas pudieran plantear la poca utilidad de los paneles FV como fuente de energía
- Sin embargo, debido a que un vehículo pasa la mayor parte del día solar estacionado, sin consumo de energía y recibiendo iluminación, su capacidad de almacenar energía es considerable, lo que lo hace una fuente de energía bastante prometedora
- Por otro lado, cuando el vehículo circula también recibe irradiancia solar, por lo que dicha energía sirve para alimentar el ME o el sistema de almacenamiento del vehículo

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA

- Los paneles fotovoltaicos están disponibles en dos tecnologías fundamentales, silicio cristalino y amorfo
- El silicio cristalino tiene mejor eficiencia, entre 12% y 18%, en tanto que el amorfo alcanza entre 5% y 8%
- El silicio amorfo, sin embargo, puede ser fabricado en planchas flexibles, lo que lo hace más adecuado para adaptarse a perfiles y formas curvas como el techo o la tapa motor de un vehículo



Panel FV rígido



Panel FV flexible

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA

- Aunque hoy en día se fabrican paneles de silicio cristalino flexible, su adaptación no es tan fácil como la del silicio amorfo, y su elevado coste no los hacen especialmente interesantes



## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA

- Un panel fotovoltaico, operando un día normal con una insolación media de  $500 \text{ W/m}^2$  puede proporcionar entre  $35 \text{ W/m}^2$  (silicio amorfo), y  $75 \text{ W/m}^2$  (silicio cristalino)
- Si consideramos que la superficie útil, techo y tapa motor, de un vehículo medio es de  $2.2 \text{ m}^2$ , vemos que se pueden generar entre  $77\text{W}$  y  $165 \text{ W}$  de potencia
- Para un día medio de  $12 \text{ h}$  de energía solar, la cantidad de energía generada sería de  $1$  a  $2 \text{ kWh}$

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA

- Teniendo en cuenta que un vehículo eléctrico medio tiene un consumo aproximado de 130 Wh/km, la cantidad de energía generada por el panel FV apenas serviría para un recorrido entre 8 y 15 km diarios
- Aunque esta cantidad no es suficiente para abastecer las necesidades energéticas del vehículo en su totalidad, sí que permitiría recorridos cortos, inferiores a 15 km/día, así como a la recarga de la batería o supercapacitor

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA

- Suponiendo que la fuente principal de energía de un vehículo eléctrico en un sistema híbrido batería-supercapacitor-panel FV sea la batería, y teniendo en cuenta que el tamaño de ésta para un vehículo eléctrico medio es de 21 kWh, podemos deducir que el panel FV permitiría cargar la batería entre 5% y 10%
- Esta energía puede ser utilizada, asimismo, para los servicios auxiliares del vehículo, reduciendo el consumo de la batería para alimentación del ME
- Por otro lado, el panel FV puede suministrar energía al supercapacitor para generar potencia

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA

- La principal utilidad del uso de paneles FV en combinación con un sistema supercapacitor-batería es múltiple, a saber:
  - Permite recargar el supercapacitor en caso de requerir potencia y tener la batería agotada o con bajo nivel de carga
  - Teniendo en cuenta el valor de densidad energética de un supercapacitor (15 Wh/kg), con un panel FV amorfo podríamos recargar un SC de 1 kg en 12 min., proporcionando una potencia de 5 kW, suficiente para el arranque del vehículo
  - Sabiendo que el motor de arranque de un vehículo tiene una potencia media de 1 kW, el tiempo para obtener dicha potencia en el SC utilizando la energía del panel FV sería de 2.4 minutos

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA

- La principal utilidad del uso de paneles FV en combinación con un sistema supercapacitor-batería es múltiple, a saber:
  - Utilizando únicamente la batería, por cada hora de recarga se podría circular durante 0.5 km, una cantidad muy exigua, pero que puede permitir alcanzar una estación de recarga en ciertos casos
  - La recarga correspondiente a una jornada media de trabajo (8h) en un día soleado, proporcionaría una autonomía de 5 km, en el peor de los casos
  - Estos valores pueden ser incrementados si la velocidad de desplazamiento se reduce de manera considerable

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA

- Teniendo en cuenta que la energía usada por el vehículo para alcanzar una velocidad dada y luego desplazarse una cierta distancia viene dada por:

$E = T + \xi$  siendo  $T$  la energía cinética y  $\xi$  la energía utilizada para vencer la fricción, tenemos:

$$T = 1/2 Mv^2 ; \xi = MgC_f + (1/2) C_x \rho A v^2$$

donde  $v$  es la velocidad de desplazamiento,  $M$  la masa del vehículo,  $\rho$  la densidad del aire,  $A$  el área frontal del vehículo, y  $C_f$  y  $C_x$  los coeficientes de fricción y aerodinámico, respectivamente

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA

- Si se considera que la fricción es pequeña frente a los términos cinético y aerodinámico, se llega a:

$$E = (1/2)(M + C_x \rho A)v^2$$

donde se puede apreciar que si se reduce la velocidad de desplazamiento se aumenta la autonomía

Horas sol	$v_o$	$v_o/2$	$v_o/3$	$v_o/4$
8	5	20	45	80
6	3.75	15	33.75	60
4	2.5	10	22.5	40

Autonomía (km);  $v_o=25$  km/h

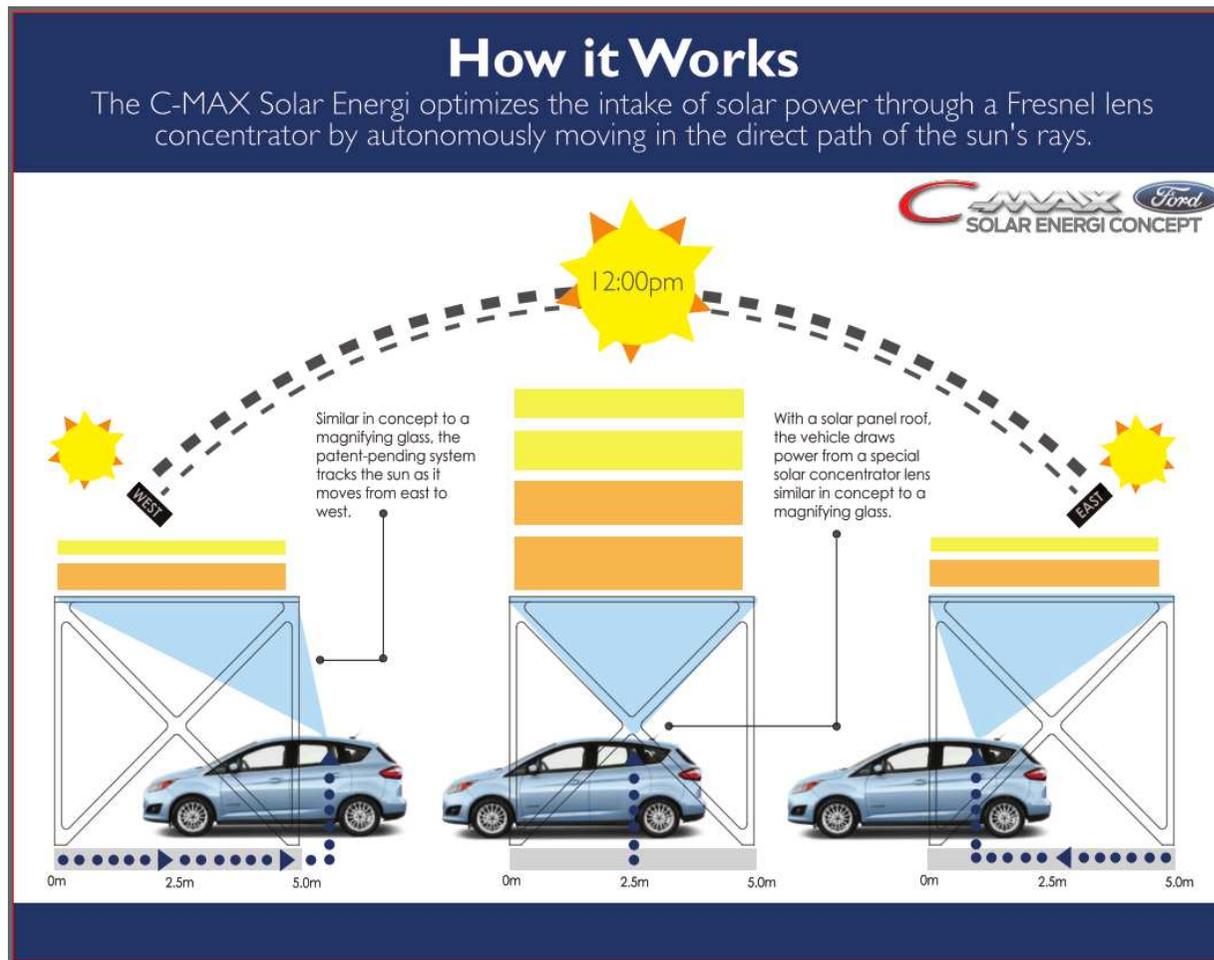
## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA

- Los datos de la tabla indican que el panel FV puede proporcionar energía para desplazamientos cortos y, eventualmente, más largos en caso de emergencia a velocidades muy reducidas
- La posibilidad de utilizar el panel FV como fuente de emergencia es una de las posibilidades que aporta esta configuración, dado que puede suceder que la batería se encuentre completamente descargada y el SC sólo proporcione energía para el arranque, pero no para el desplazamiento

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA

- Una opción para mejorar el comportamiento del sistema de paneles FV es utilizar un sistema que reciba la irradiancia solar en condiciones óptimas
- Para ello, se instala un sistema que concentra la energía solar mediante unas lentes, *Lente Fresnel*, que aumenta la intensidad de corriente que se genera y permite alimentar un ME de mayor potencia o recargar las baterías de forma más rápida
- Hoy en día existen algunos vehículos que de forma experimental incorporan esta tecnología emergente

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA



## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA

- En la imagen se ve un vehículo equipado con una lente Fresnel que concentra los rayos solares sobre una superficie más reducida, incrementando así la intensidad solar en un factor que puede alcanzar varias decenas
- Esto equivale a suponer que la insolación media en un día con valor  $500 \text{ W/m}^2$  pasaría a ser de  $5000 \text{ W/m}^2$  si el factor de concentración fuera 10
- La energía sería la misma, pero la intensidad de corriente generada se incrementaría en un factor equivalente, esto es 10

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON ALIMENTACIÓN FOTOVOLTAICA

- Este método sirve para incrementar la potencia generada por el panel FV, aunque no la energía
- Permite así alimentar ME de mayor potencia, lo que es útil en ciertos vehículos
- Igualmente, reduce el tiempo de recarga de una batería o SC, lo que en caso de necesidad presenta innegables ventajas

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

- **Sistema híbrido sin MCI: características y modo de operación**
  - Batería/supercondensador + Pila de Combustible
  - Batería/supercondensador + sistema solar FV
  - **Pila de Combustible + sistema solar FV**
  - Batería/supercondensador + Pila de Combustible + Sistema FV

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON PILA DE COMBUSTIBLE Y PANEL FV

- Como hemos comentado, en el caso de las pilas de combustible se necesita una fuente de hidrógeno, que es proporcionada a partir de una reserva de hidrocarburos, como en el MCI, o de un tanque de hidrógeno
- Una de las formas más ecológicas y menos contaminantes es obtener el hidrógeno a partir de la electrólisis del agua
- Para dicho proceso se necesita una fuente de energía eléctrica que proporcione un voltaje y una corriente determinados; dicha fuente puede proceder de un panel FV instalado en el vehículo

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON PILA DE COMBUSTIBLE Y PANEL FV

- El hidrógeno que se genere en el proceso de electrólisis puede ser utilizado en forma directa en la pila de combustible o ser almacenado en un tanque para su uso posterior
- El uso directo del H<sub>2</sub> en la pila permite alimentar el ME o proporcionar energía a los sistemas auxiliares
- El almacenamiento del hidrógeno en tanques funciona de la misma manera que en el caso de las baterías, por acumulación de energía en forma de combustible líquido o gaseoso en lugar de energía en forma de carga eléctrica

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON PILA DE COMBUSTIBLE Y PANEL FV

- Dado que la tensión para convertir el agua en  $H_2$  y  $O_2$  es de 2.35 V, un panel con 5 células de Si es suficiente
- Por otro lado, la cantidad de  $H_2$  generado dependerá de la corriente que suministre el panel, que depende de la superficie del panel y de la irradiancia solar
- En función del tipo de panel utilizado, de la superficie útil disponible en el techo y tapa motor del vehículo, y del nivel de insolación, se puede obtener mayor o menor cantidad de hidrógeno

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON PILA DE COMBUSTIBLE Y PANEL FV

- Considerando Si amorfo, el más adecuado para su instalación en superficies curvas, con  $\eta=8\%$ , una superficie útil de  $2.4 \text{ m}^2$ , y un nivel de insolación de  $500 \text{ W/m}^2$ , tenemos:

$$\xi = \eta GSt = (0.08)(500)(2.4)(8) = 768Wh$$

- Si trabajamos a un voltaje de  $2.5 \text{ V}$ , la carga que se genera es:

$$Q = \xi/V = 768/2.5 = 307 Ah$$

- Esta carga es suficiente para generar el hidrógeno necesario para mover el ME a través de la pila de combustible

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON PILA DE COMBUSTIBLE Y PANEL FV

- Un sencillo cálculo nos indica la cantidad de carga generada

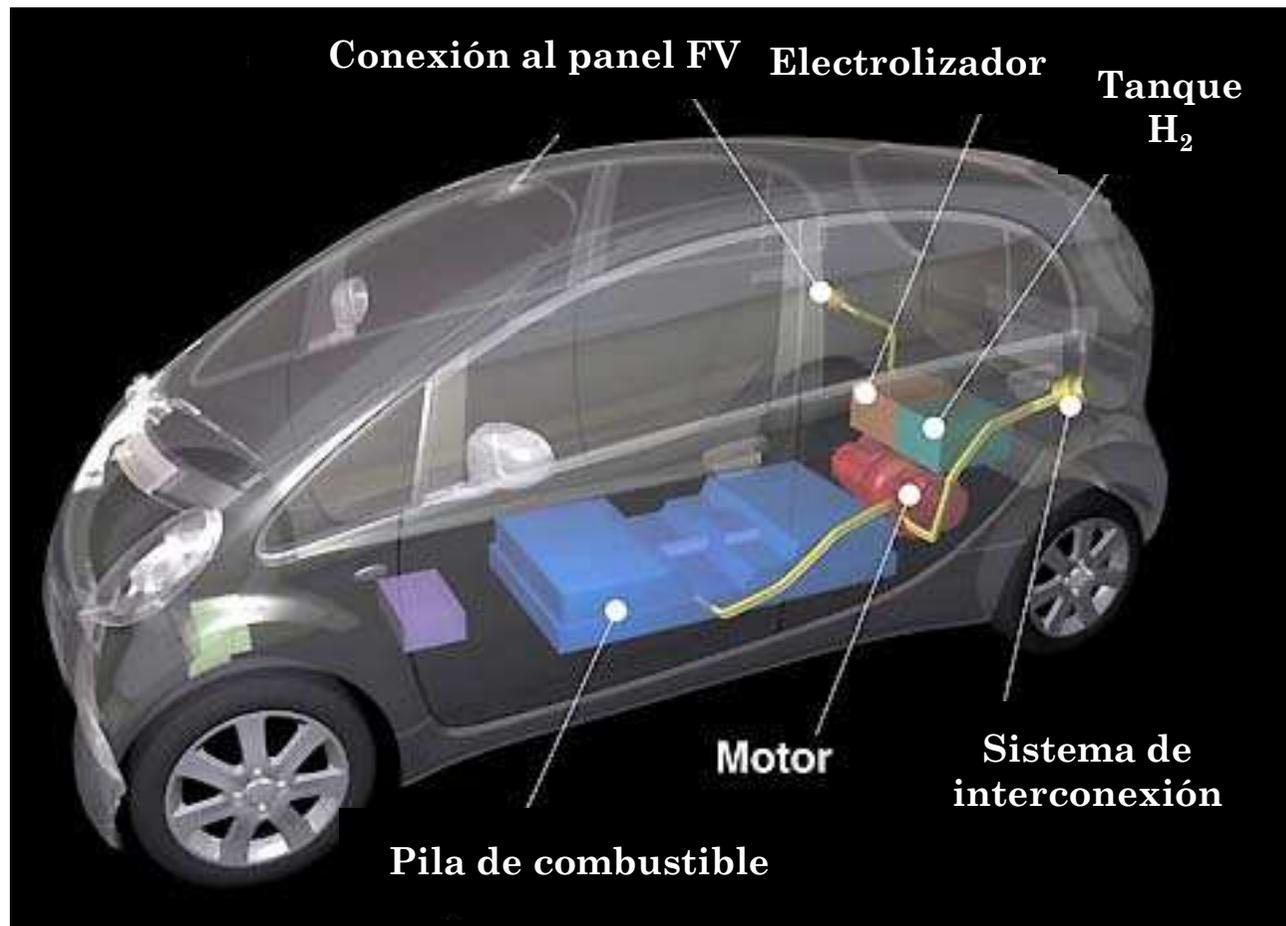
$$Q = 307 Ah = 1.11 \times 10^6 C$$

- Teniendo en cuenta que por para generar un ion de  $H_2$  se necesitan  $1.6 \times 10^{-19} C$ , podemos ver que un panel FV puede generar  $Q = (1.1 \times 10^6 / 1.6 \times 10^{-19}) = 7 \times 10^{24}$  iones de  $H_2$ , o  $3.5 \times 10^{24}$  átomos de  $H_2$
- Estos átomos de  $H_2$  se almacenan, generalmente, en forma gaseosa en tanques de presión para evitar un volumen excesivo, puesto que un mol de  $H_2$ , equivalente a  $6.23 \times 10^{23}$  iones, ocupa 22.4 l
- El volumen equivalente de los átomos de  $H_2$  generados sería de 126 litros

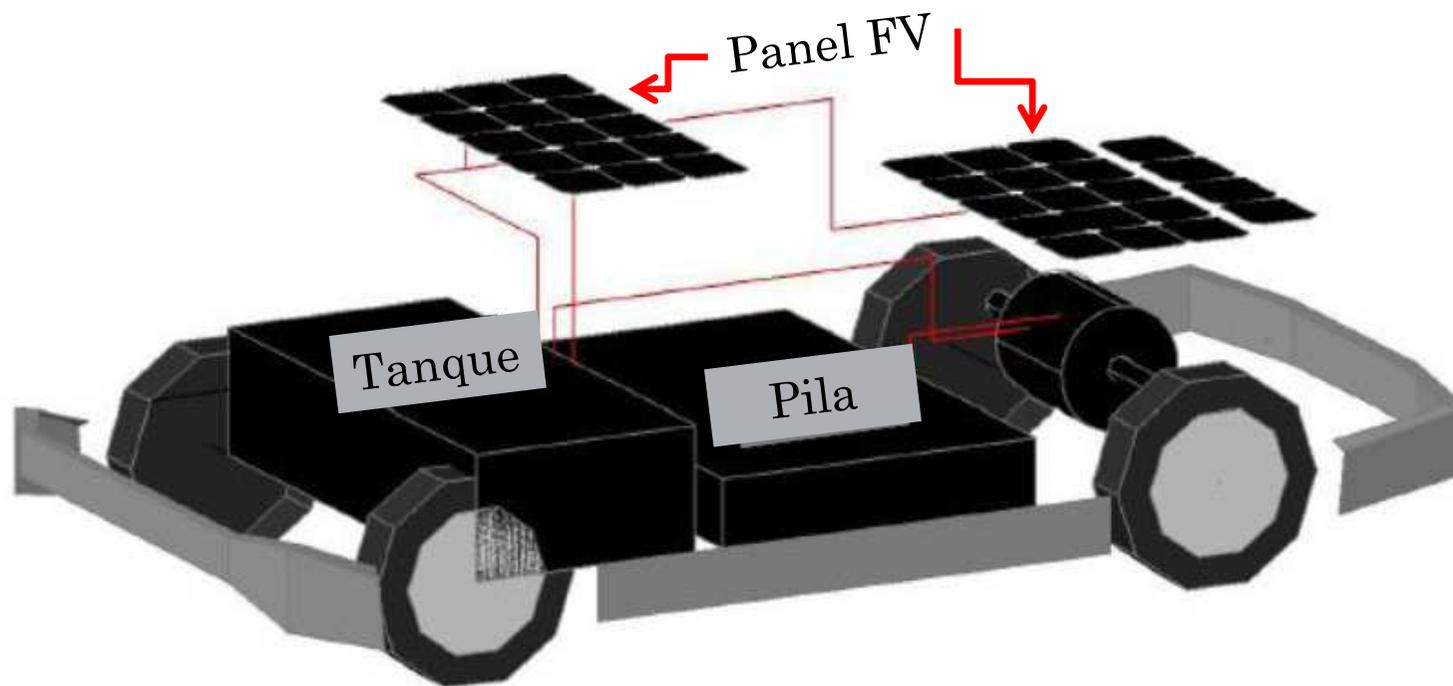
## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON PILA DE COMBUSTIBLE Y PANEL FV

- En una configuración como la presente el panel FV se conecta directamente al electrolizador para generar hidrógeno
- El electrolizador alimenta la pila de combustible o el tanque de almacenamiento de hidrógeno a través de un sistema de interconexión
- La pila de combustible puede ser alimentada, desde el electrolizador, o desde el tanque de almacenamiento

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON PILA DE COMBUSTIBLE Y PANEL FV



# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON PILA DE COMBUSTIBLE Y PANEL FV



## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON PILA DE COMBUSTIBLE Y PANEL FV

- Si consideramos que la densidad del H<sub>2</sub> es muy baja, 0.085 kg/m<sup>3</sup>, la masa contenida en el volumen de H<sub>2</sub> generado por el panel FV a lo largo del día equivale a:  $m=(0.085)(0.126)=0.00107$  g
- Si se tiene en cuenta que la densidad específica de energía del H<sub>2</sub> es de 33 kWh/kg, la cantidad de energía generada por el H<sub>2</sub> sería:  
 $\xi=0.00107 \times 33=0.35$  kWh
- Por otro lado, hay que tener en cuenta que la eficiencia de conversión en una pila de combustible se encuentra en torno al 40%-50%

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON PILA DE COMBUSTIBLE Y PANEL FV

- Con los datos proporcionados, vemos que la energía generada por el sistema panel FV- pila de combustible sería, como máximo, de 0.175 kWh
- Reproduciendo la tabla calculada para el caso de un vehículo eléctrico que estuviera conectado a un panel FV y empleara la energía para arranque y desplazamiento se tiene que la energía para el arranque vale:

$$\xi_{arr} = (1)kW (3 / 3600)h = 8 \times 10^{-4} kWh$$

cantidad que podemos considerar poco significativa

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON PILA DE COMBUSTIBLE Y PANEL FV

- Para el desplazamiento, en función de la velocidad y de la energía disponible, tenemos, en el peor y en el mejor de los casos:

Horas sol	$v_o$	$v_o/2$	$v_o/3$	$v_o/4$
8	1.75	7	15.75	28
6	1.3	5.2	11.7	20.8
4	0.9	3.6	8.1	14.4

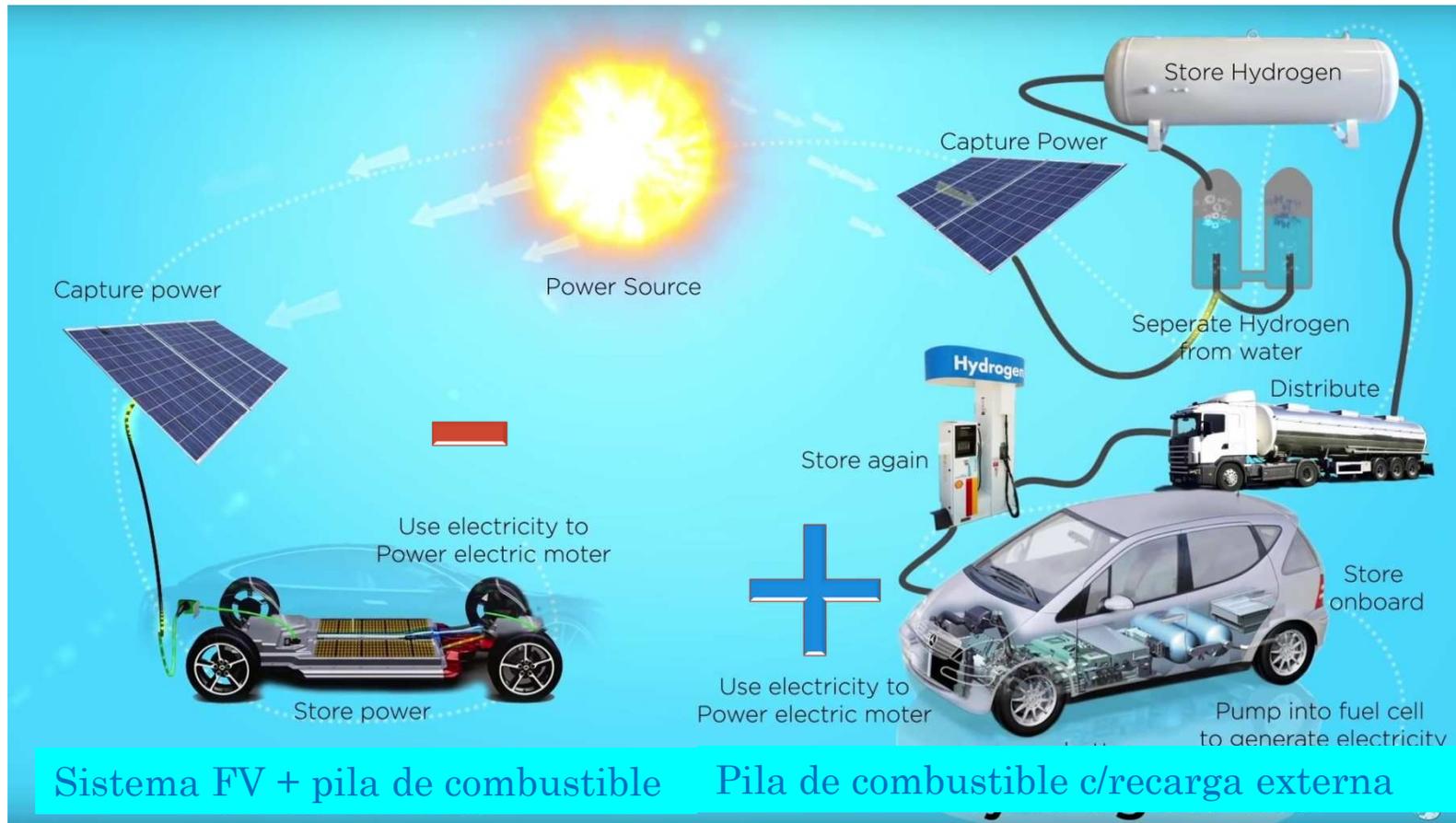
Horas sol	$v_o$	$v_o/2$	$v_o/3$	$v_o/4$
8	3.5	14	31.5	56
6	2.6	10.4	23.4	41.6
4	1.8	7.2	16.2	28.8

Autonomía (km);  $v_o=25$  km/h

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON PILA DE COMBUSTIBLE Y PANEL FV

- Como se puede apreciar el uso de un sistema FV como fuente única para el suministro de energía a una pila de combustible resulta todavía poco eficiente, con autonomías muy reducidas, incluso a velocidades muy lentas
- Esta situación hace que esta tecnología no resulte interesante desde el punto de vista comparado con otras ya implantadas, como el uso combinado con MCI o con recarga externa
- Igualmente, esta tecnología emergente tampoco es competitiva desde el punto de vista económico

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON PILA DE COMBUSTIBLE Y PANEL FV



Sistema FV + pila de combustible

Pila de combustible c/recarga externa

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON PILA DE COMBUSTIBLE Y PANEL FV

- El sistema combinado pila de combustible–panel FV presenta, sin embargo, algunas ventajas
  - Permite utilizar el vehículo en caso que no se disponga de hidrógeno para el uso de la pila de combustible
  - Elimina el uso de combustibles fósiles para la generación de hidrógeno, con lo que se limita la emisión de GEI
  - Reduce la complejidad del diseño en el uso de un sistema combinado con MCI
  - Evita el uso de un complicado dispositivo de control que regule el uso del MCI o la pila de combustible cuando actúan ambos como fuentes de energía

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL

- **Sistema híbrido sin MCI: características y modo de operación**
  - Batería/supercondensador + Pila de Combustible
  - Batería/supercondensador + sistema solar FV
  - Pila de Combustible + sistema solar FV
  - **Batería/supercondensador + Pila de Combustible + Sistema FV**

## SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON PILA DE COMBUSTIBLE, SC Y PANEL FV

- El sistema pila de combustible–panel FV-SC es una combinación de los anteriormente explicados
- Presenta las ventajas de utilizar tres fuentes de energía diferentes, lo que asegura, en gran medida, la disponibilidad de energía y evita la posibilidad de estancamiento del vehículo en caso de fallo del combustible
- Por el contrario, aumenta la complejidad del diseño y obliga a disponer de un sistema de control más complicado y costoso
- Asimismo, reduce el espacio disponible si se quiere seguir disponiendo de un tamaño adecuado para cada una de las fuentes de energía

# SISTEMA HÍBRIDO NO CONVENCIONAL CON PILA DE COMBUSTIBLE, SC Y PANEL FV

- En caso de limitar el espacio o volumen dedicado a las fuentes de energía, pila de combustible, batería y SC, el tamaño de estas fuentes debe ser reducido limitando así la capacidad de generación y, por tanto la autonomía de desplazamiento

