

Zaragoza, 24 de marzo

OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS PROPULSORES DE AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS Y SU INCIDENCIA EN LOS SISTEMAS AUXILIARES DE ENERGÍA

Emilio Larrodé Pellicer
elarrode@unizar.es



1. SITUACIÓN ACTUAL

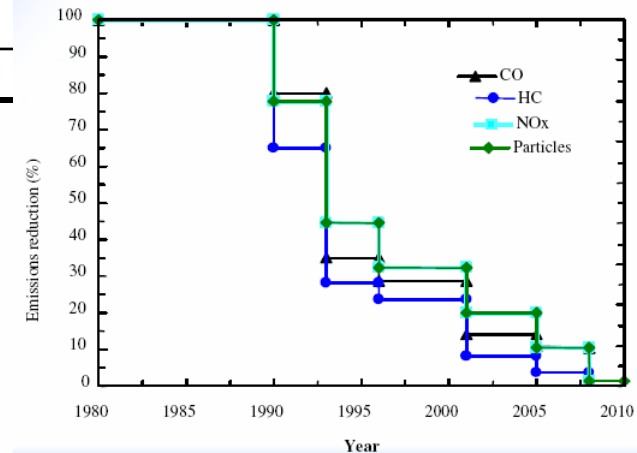
ÍNDICE

1. SITUACIÓN ACTUAL
2. OBJETIVOS
3. DEFINICIÓN DE CONSTANTES
4. ESTUDIO
5. ANÁLISIS
6. CONCLUSIONES

- Necesidad de cumplir las normativas europeas sobre la reducción del límite de emisiones:

CALENDARIO EURO						
Standard	Año	CO	Hidrocarburos	NOx	Partículas suspendidas	
Euro 1	1993	4,5	1,1	8,0	0,36	
Euro 2	1996	4,0	1,1	7,0	0,25	
Euro 3	Octubre 1999	2,1	0,66	5,0	0,10	
Euro 4	Octubre 2006	1,5	0,46	3,5	0,02	
Euro 5	Octubre 2009	1,5	0,46	2	0,02	
Euro 6	Septiembre 2014	-	-	-	-	

Cantidades expresadas en gr/kWh.



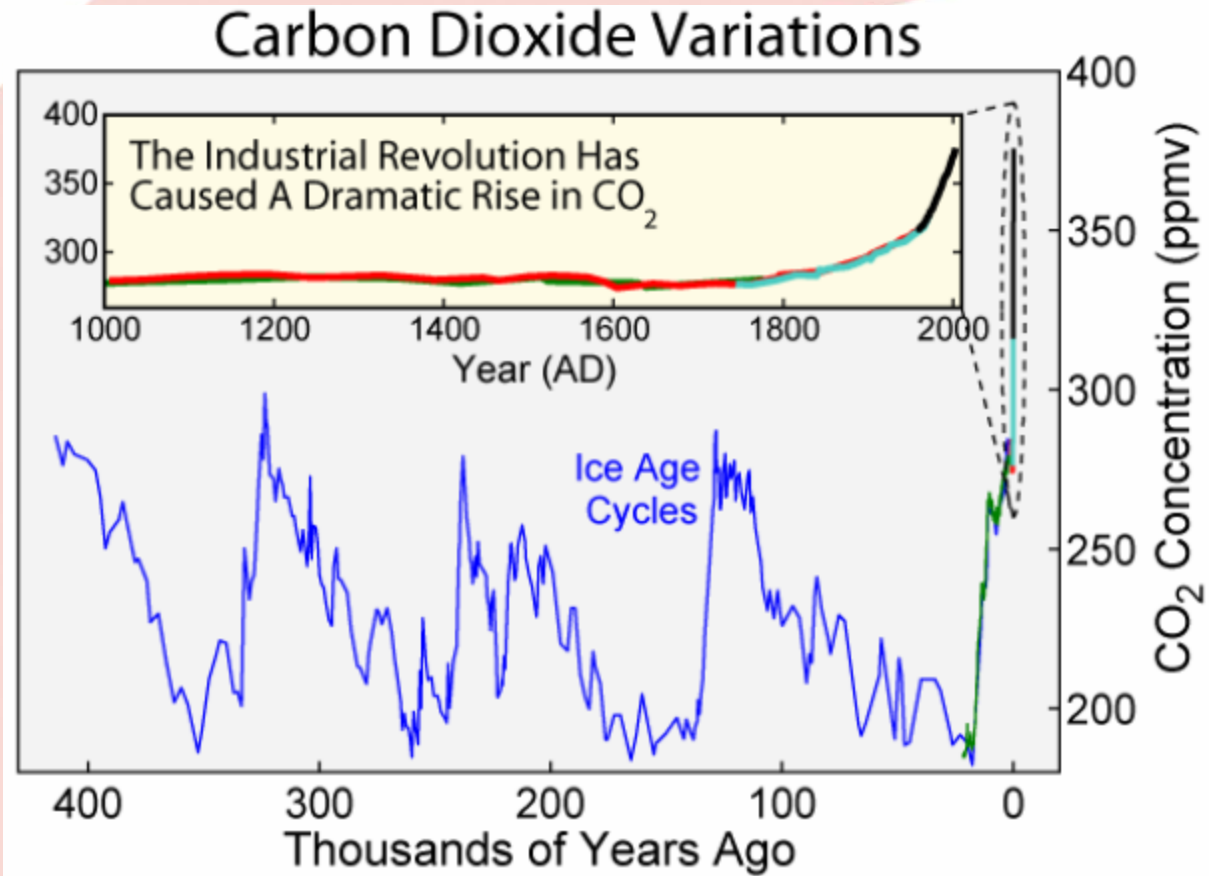
- Cumplimiento de los compromisos adquiridos en el año 1997 tras la suscripción del Protocolo de Kyoto.

1. SITUACIÓN ACTUAL

ÍNDICE

- Consumo de energía y cambio climático.

1. SITUACIÓN ACTUAL
2. OBJETIVOS
3. DEFINICIÓN DE CONSTANTES
4. ESTUDIO
5. ANÁLISIS
6. CONCLUSIONES



Fuente: Petit Jr, et al. Nature, 1999;399:429

1.1. FUTURO INMEDIATO

ÍNDICE

1. SITUACIÓN ACTUAL

1.1. FUTURO INMEDIATO

2. OBJETIVOS

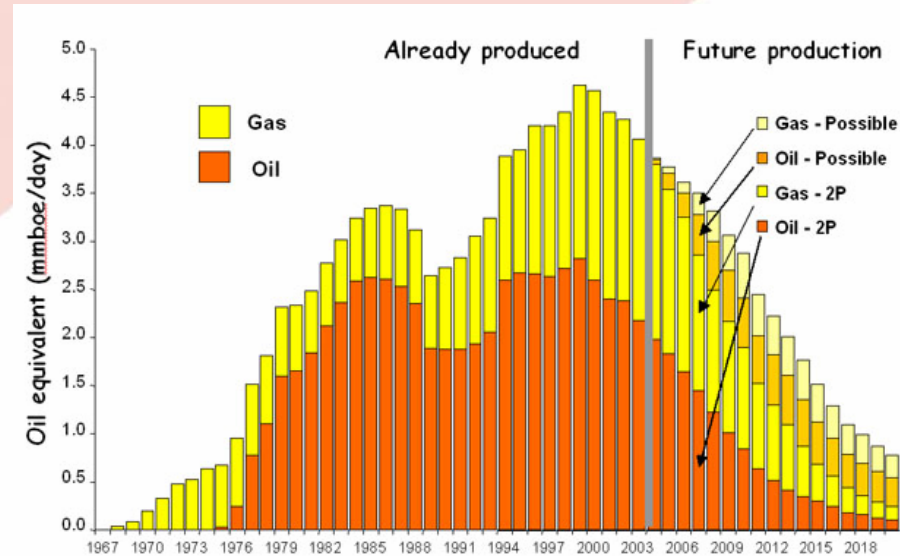
3. DEFINICIÓN DE CONSTANTES

4. ESTUDIO

5. ANÁLISIS

6. CONCLUSIONES

- Fin de la vida útil de las centrales nucleares.
- Máximo de producción de petróleo barato.
- Aumento de la dependencia en el gas natural (según reservas/producción año 2001 → 62 años).
- Crecimiento de la contaminación asociada al consumo de combustibles fósiles y fenómenos asociados.
- Aumento de la dependencia de la OPEP.

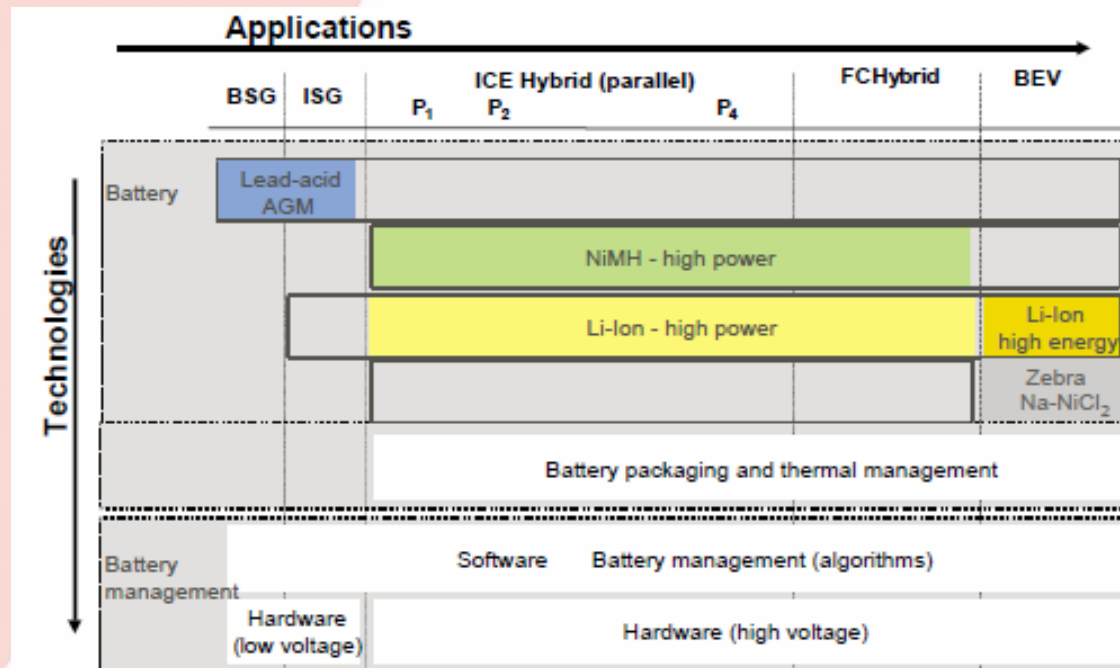


1.2. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

ÍNDICE

- 1. SITUACIÓN ACTUAL
- 1.2. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO
- 2. OBJETIVOS
- 3. DEFINICIÓN DE CONSTANTES
- 4. ESTUDIO
- 5. ANÁLISIS
- 6. CONCLUSIONES

- Tipos:
 - Baterías Pb-ácido
 - Ultracapacitores
 - Baterías Pb-ácido con válvula reguladora
 - Pilas de combustible
 - Baterías de Ni-Mh
 - Flywheel
 - Baterías de Ión-Li
 - Sistemas de almacenamiento híbridos
 - Baterías de Ión-polímero
- Baterías y sus aplicaciones en los vehículos:



2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO



ÍNDICE

1. SITUACIÓN ACTUAL

2. **OBJETIVOS**

3. DEFINICIÓN DE CONSTANTES

4. ESTUDIO

5. ANÁLISIS

6. CONCLUSIONES

- Establecer pautas que proporcionen un punto de partida para el dimensionamiento del sistema energético de vehículos con pila de combustible, atendiendo al ciclo de funcionamiento que deben satisfacer.
- Obtener un resultado óptimo que minimice el consumo de hidrógeno en estos vehículos que utilizan pilas de combustible

3. DEFINICIÓN DE CONSTANTES

ÍNDICE

- Ciclos de funcionamiento: Ciclo 1 (urbano) a Ciclo 6 (suburbano)

1. SITUACIÓN ACTUAL

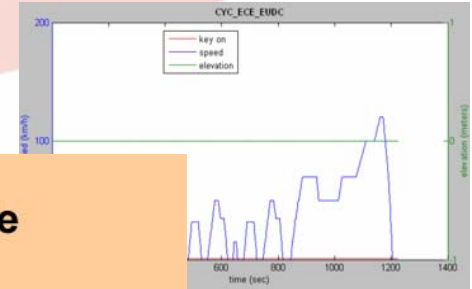
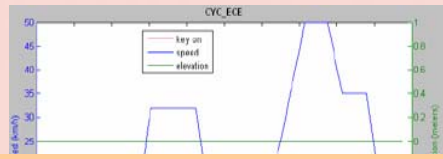
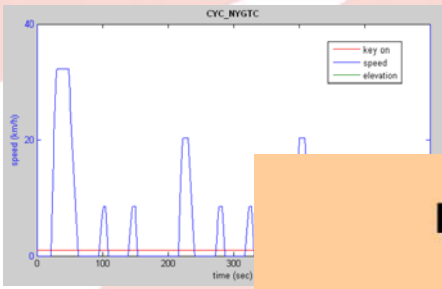
2. OBJETIVOS

3. DEFINICIÓN DE CONSTANTES

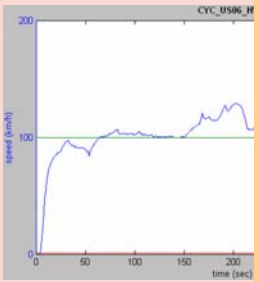
4. ESTUDIO

5. ANÁLISIS

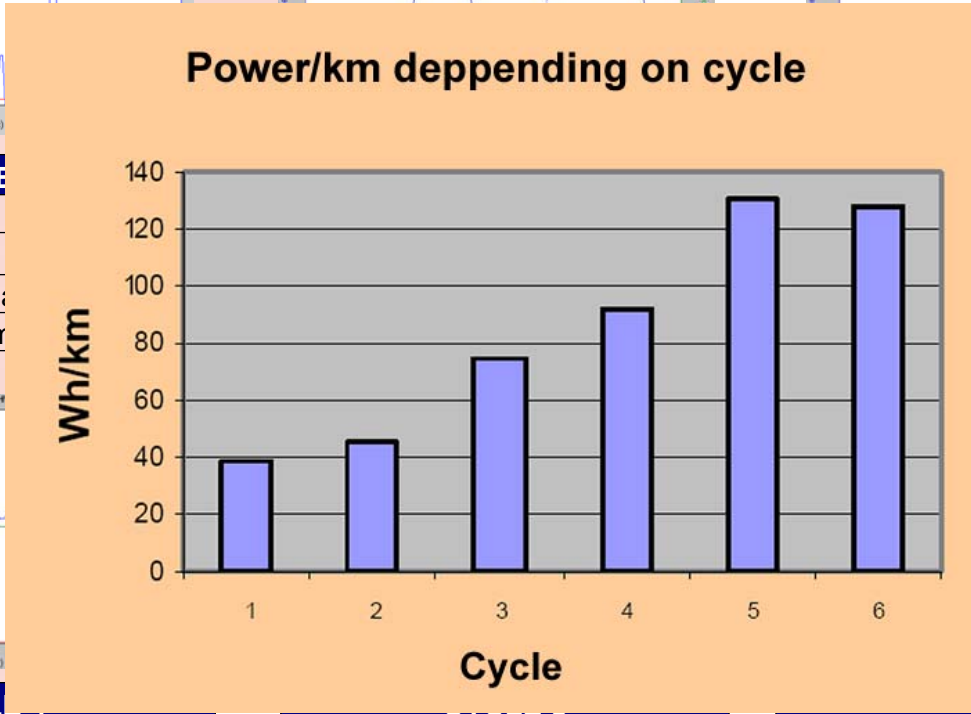
6. CONCLUSIONES



CYCLE 1	
Duración	400 s
Distancia	6,95 km
Velocidad máxima	120 km/h
Aceleración máxima	0,83 m/s ²

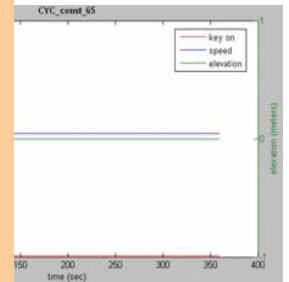


CYCLE 2	
Duración	400 s
Distancia	6,95 km
Velocidad máxima	120 km/h
Aceleración máxima	0,83 m/s ²



CYCLE 3	
Duración	368 s
Distancia	10,04 km
Velocidad máxima	129,3 km/h
Aceleración máxima	3,08 m/s ²

CYCLE 3 (MIXED)	
Duración	1225 s
Distancia	10,93 km
Velocidad máxima	120 km/h
Aceleración máxima	1,06 m/s ²



CYCLE 6	
Duración	360 s
Distancia	10,46 km
Velocidad máxima	104,61 km/h
Aceleración máxima	0 m/s ²

4.1. PRIMERA FASE DEL ESTUDIO

ÍNDICE

- Evolución: desde la tecnología convencional a la de pila de combustible

1. SITUACIÓN ACTUAL

2. OBJETIVOS

3. DEFINICIÓN DE CONSTANTES

4. ESTUDIO

4.1. PRIMERA FASE

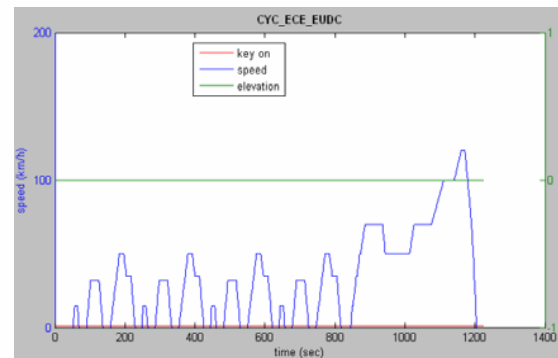
5. ANÁLISIS

6. CONCLUSIONES

Vehículo		Peso kg	Aceleración 0 a 100 km/h s	Velocidad máx. km/h	Autonomia km	Emisiones g CO ₂ /km	Rendimiento (η) %	Consumo l eq*/100km
Convencional	Otto	1366	12	185,3	516	206	9,8	8,6
	Diesel	1364	12	160,2	514	170	11,8	7,1
Híbrido	Pb-ácido	1594	12	162,5	500	187	10,8	7,8
	Li-Ion	1287	11,9	162,8	500	146	13,8	6,1
Eléctrico	Li-Ion	1647	11,9	164	522	0	42,1	2
	Ni-Mh	2579	12	161,6	489	0	30,1	2,8
	Pb-ácido	2710	12	160,7	293,7	0	26,3	3,2
Pila de combustible	Pb-ácido	1752	11,9	160,8	500	0	20	4,2

*"litros equivalentes de gasolina" representan la cantidad de energía equivalente en litros de gasolina.

CICLO 3



4.2. SEGUNDA FASE DEL ESTUDIO

ÍNDICE

1. SITUACIÓN ACTUAL
2. OBJETIVOS
3. DEFINICIÓN DE CONSTANTES
4. ESTUDIO
 - 4.2. SEGUNDA FASE
5. ANÁLISIS
6. CONCLUSIONES

Características del sistema principal de energía

Characteristics Systems	Energy density	Power density	Performance	Cost
Fuel cell	Depends on stored fuel	1.4 kW/liter	60% (depending on type)	60 €/kW (approx.)
Thermal motor	Depends on stored fuel	1 kW/kg (Approx. depending on type)	20% (depending on type and operating point)	40 €/kW (approx.)
Sodio-Sulfur battery	110 Wh/kg	150 W/kg	75% (approx.)	150 €/kW (approx.)

Characteristics Systems	Energy density	Power density	Useful life (nº of cycles)	Cost
Flywheel	< 150 Wh/kg	2 kW/kg	unlimited	high
Ultracapacitor	1-10 Wh/kg	10 kW/kg (approx.)	> 500000	80 €/kW (approx.)
Pneumatic system	60 Wh/kg (approx.)	high	unlimited	middle
Hydraulic system	10 Wh/kg (approx.)	1.5 kW/kg	unlimited	middle
Lead-acid batteries	30-55 Wh/kg	150-900 W/kg	1000 (approx.)	15-30 €/kW
Others batteries	50-22 Wh/kg (depending on type)	30-200 W/kg (depending on type)	200-2000 (depending on type)	80-200 €/kW (depending on type)

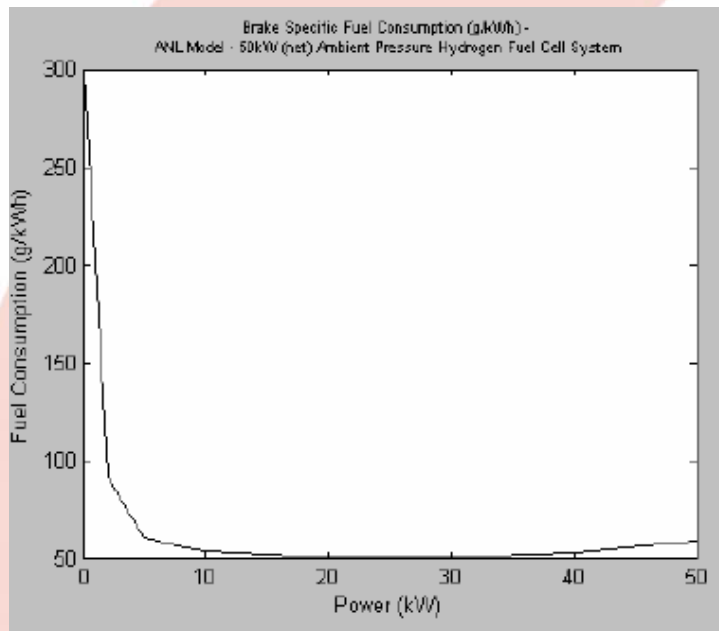
Características del sistema auxiliar de energía

4.2. SEGUNDA FASE DEL ESTUDIO

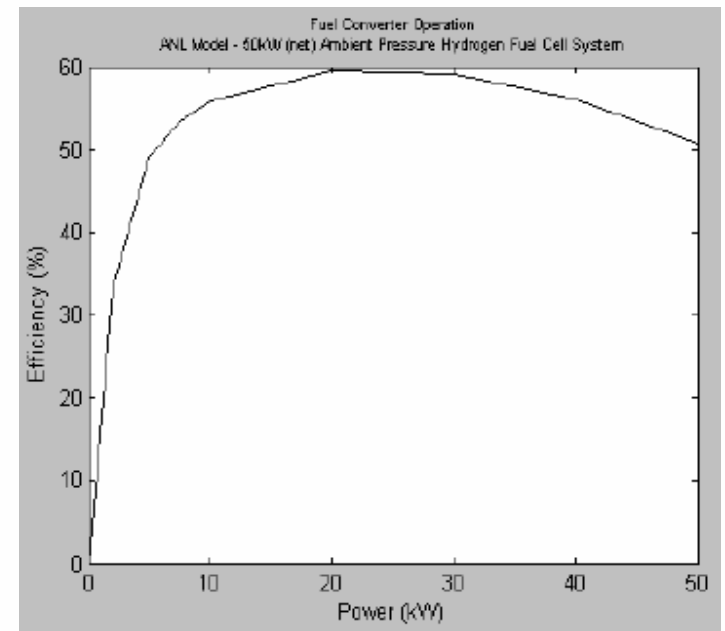
ÍNDICE

1. SITUACIÓN ACTUAL
2. OBJETIVOS
3. DEFINICIÓN DE CONSTANTES
4. ESTUDIO
- 4.2. SEGUNDA FASE
5. ANÁLISIS
6. CONCLUSIONES

- Ejemplo: PILA de COMBUSTIBLE de 50kW



Consumo de combustible
(g/kWh) en función de
la potencia (kW)



Eficiencia (%) en función
de la potencia (kW)

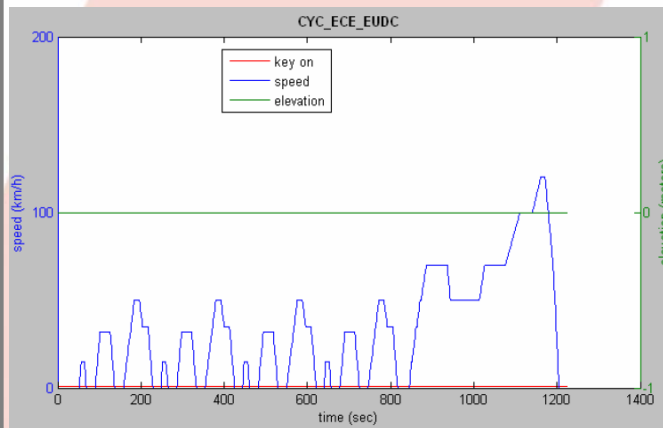
4.2. SEGUNDA FASE DEL ESTUDIO

ÍNDICE

- 1. SITUACIÓN ACTUAL
- 2. OBJETIVOS
- 3. DEFINICIÓN DE CONSTANTES
- 4. ESTUDIO
- 4.2. SEGUNDA FASE
- 5. ANÁLISIS
- 6. CONCLUSIONES

- Simulación de diferentes vehículos con tecnología de pila de combustible con diferentes sistemas auxiliares de energía.

CICLO 3



Sistema de almacenamiento	Potencia de la batería Kw	Rendimiento (η) %	Consumo l eq*/100km
Ni-mh	20	21	4
Li-Ion	12	27,6	3,1
Pb-ácido	20	20	4,2
ultracapacitor	55	23,4	3,6

*"litros equivalentes de gasolina" representan la cantidad de energía equivalente en litros de gasolina.

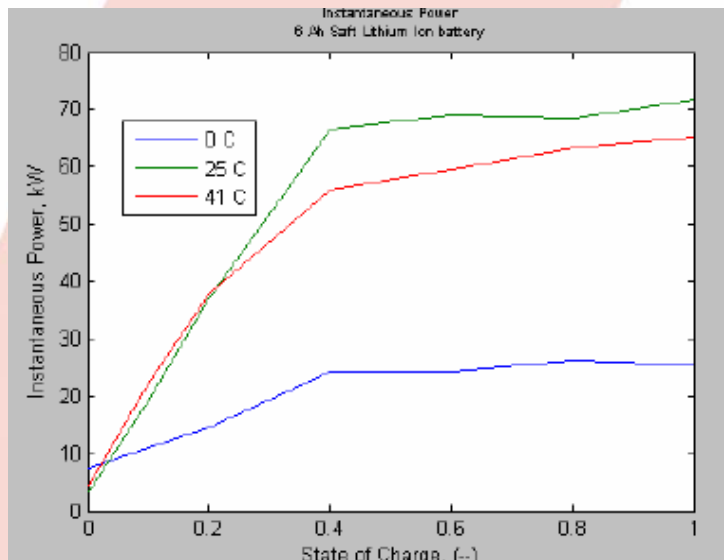
4.2. SEGUNDA FASE DEL ESTUDIO

ÍNDICE

- 1. SITUACIÓN ACTUAL
- 2. OBJETIVOS
- 3. DEFINICIÓN DE CONSTANTES
- 4. ESTUDIO
- 4.2. SEGUNDA FASE
- 5. ANÁLISIS
- 6. CONCLUSIONES

- Características de la configuración seleccionada:

PILA DE COMBUSTIBLE con BATERÍA IÓN-LI



Potencia (kW) vs. Estado de carga, para diferentes temperaturas

Sistema energético	
Motor eléctrico	55 kW
Pila de combustible	12 kW
Baterías Ión-Li	20 kW (approx. 0°C)
Densidad energética	56,1 kW/kg
Peso del vehículo	1295 kg (100%)
Peso de la batería	41 kg (3.1%)
Peso de la pila de combustible	130 kg (10%)
Autonomía	500 km
Consumo energético	270.6 Wh/km
Eficiencia	27,6%
Precio estimado de la batería	460 €

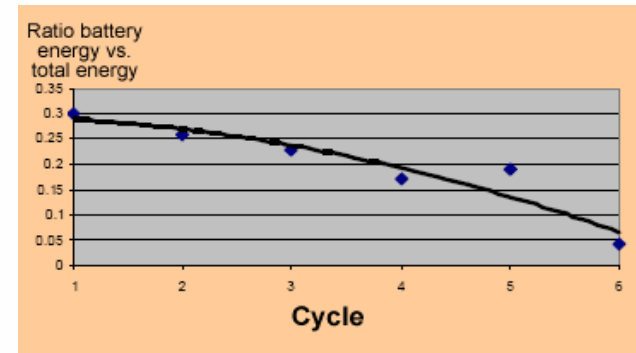
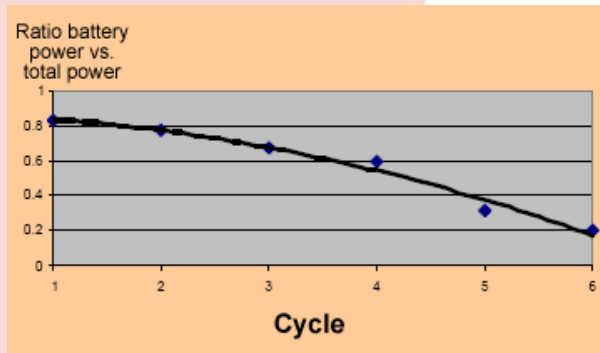
4.3. TERCERA FASE DEL ESTUDIO

ÍNDICE

- 1. SITUACIÓN ACTUAL
- 2. OBJETIVOS
- 3. DEFINICIÓN DE CONSTANTES
- 4. ESTUDIO
- 4.3. TERCERA FASE
- 5. ANÁLISIS
- 6. CONCLUSIONES

- Tamaño de los componentes del sistema de energía del vehículo con tecnología de pila de combustible con batería de Ión-Li, seleccionado en la fase anterior, con el objetivo de obtener la eficiencia energética máxima de acuerdo con el ciclo en el que opera.

	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6
Potencia de la batería (kW)	25	25,5	25	25	28	17
Potencia de la pila de combustible (kW)	5	7	12	17	60	65
Energía proporcionada por la batería (kJ)	242	157	1604	668	1409	300
Energía proporcionada por la pila de combustible (kJ)	560	448	5380	3251	7165	5848



Ciclos urbanos → los sistemas de energía auxiliares juegan un papel importante debido a la alta variabilidad de demanda.

Ciclos suburbanos → la importancia de los sistemas de energía auxiliares se hace menos importante debido a que la demandade energía se hace más constante.

5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

ÍNDICE

1. SITUACIÓN ACTUAL
2. OBJETIVOS
3. DEFINICIÓN DE CONSTANTES
4. ESTUDIO
5. ANÁLISIS
6. CONCLUSIONES

- Comparación del consumo de cada vehículo con tecnología de pila de combustible cuyo diseño se ha optimizado para un ciclo específico, respecto a su consumo en el resto de los ciclos de funcionamiento.

Consumo expresado en litros equivalentes de gasolina cada 100 km.

	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6
Vehículo diseñado para cumplir el ciclo 1	5,7	3	no	no	no	no
Vehículo diseñado para cumplir el ciclo 2	7,3	2,8	no	no	no	no
Vehículo diseñado para cumplir el ciclo3	9,9	3,6	3,1	no	no	no
Vehículo diseñado para cumplir el ciclo4	9,7	4,3	3,3	2,9	no	3,7
Vehículo diseñado para cumplir el ciclo 5	18,2	10,5	4	4,1	4	3,6
Vehículo diseñado para cumplir el ciclo 6	9	4,2	3,5	3,2	no	3,3

“no” aparece cuando los vehículos no son capaces de completar satisfactoriamente el ciclo debido al pequeño tamaño de la pila de combustible.

5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

ÍNDICE

1. SITUACIÓN ACTUAL
2. OBJETIVOS
3. DEFINICIÓN DE CONSTANTES
4. ESTUDIO
- 5. ANÁLISIS**
6. CONCLUSIONES

- Comparación: vehículo de pila de combustible diseñado de forma óptima para cada ciclo vs. vehículos convencionales.

Vehículo		Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6
Otto	Consumo l eq*/100km	43,1	10,8	8,6	7	7,9	7,1
	Eficiencia	1%	4,8%	9,8%	14,8	18,7	20%
Diesel	Consumo l eq*/100km	33,1	8,6	7,1	6,1	7,1	6,1
	Eficiencia	1,3%	6%	11,9%	17%	20,8%	23,7%
Pila de combustible	Consumo l eq*/100km	5,7	2,8	3,1	2,9	4	3,3
	Eficiencia	7,6%	18,5%	27,4%	35,8%	37%	44%

*"litros equivalentes de gasolina" representan la cantidad de energía equivalente en litros de gasolina.

6. CONCLUSIONES

ÍNDICE

1. SITUACIÓN ACTUAL
2. OBJETIVOS
3. DEFINICIÓN DE CONSTANTES
4. ESTUDIO
5. ANÁLISIS
6. CONCLUSIONES

- Se ha proporcionada un punto de partida para el dimensionamiento de los sistemas de energía en los vehículos con tecnología de pila de combustible. La relación “potencia de las baterías / Potencia total”, oscila entre el 80% en ciclos urbanos y el 20% en los suburbanos.
- Ha quedado patente la gran importancia de un correcto dimensionamiento; con diferencias de consumo de hasta 3,75 veces respecto al diseño óptimo.

	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4	Cycle 5	Cycle 6
Vehicle optimally designed for cycle 1	5.7	3	no	no	no	no
Vehicle optimally designed for cycle 2	7.3	2.8	no	no	no	no
Vehicle optimally designed for cycle 3	9.9	3.6	3.1	no	no	no
Vehicle optimally designed for cycle 4	9.7	4.3	3.3	2.9	no	3.7
Vehicle optimally designed for cycle 5	18.2	10.5	4	4.1	4	3.6
Vehicle optimally designed for cycle 6	9	4.2	3.5	3.2	no	3.3

- Los rendimientos obtenidos con los vehículos diseñados con sistemas de pila de combustible son superiores a los rendimientos obtenidos con los vehículos convencionales.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN!!!!



The screenshot shows the I3A website interface. At the top left is the I3A logo and the text 'instituto de investigación en ingeniería de Aragón Universidad de Zaragoza'. To the right of the logo are links for 'Login', 'Contacto', 'Español', and 'Inglés'. A vertical navigation menu on the left contains icons and labels for: Inicio, Personal del I3A, Grupos del I3A, Investigación, Proyectos, Publicaciones, Recursos, Servicios Externos, Servicios Internos, Becas y empleo, Blog I3A, Sugerencias, Ateneo CPS, Acceso BSCW, Postgrado Ingeniería, and Biomédica. Below the menu is a search box with a 'Buscar' button. The main content area features a section titled 'Doctores adscritos al SMITS' with a table listing faculty members. Below this is a section for 'Becarios y otro personal adscrito al SMITS' with an empty table header. At the bottom of the page is a footer with a row of icons and the text: 'webmasterI3A[arroba]unizar.es | I3A Ed Torres Quevedo, C/Maria de Luna 3. 976762760 Zaragoza'.

Doctores adscritos al SMITS

Nombre	Categoría	Mail
Larrode Pellicer, Emilio	Catedrático de Universidad	elarrode@unizar.es
Torres Leza, Fernando	Catedrático de Universidad	torresle@unizar.es
Royo Vázquez, Emilio	Titular de Universidad	eroyo@unizar.es
Sáenz Gil de gómez, M ^a Jesús	Titular de Escuela Universitaria	mjsaenz@unizar.es
Oliveros Colay, M ^a José	Profesor Asociado	mjoliver@unizar.es

Becarios y otro personal adscrito al SMITS

Nombre	Mail
--------	------

webmasterI3A[arroba]unizar.es | I3A Ed Torres Quevedo, C/Maria de Luna 3. 976762760 Zaragoza

<http://i3a.unizar.es>