



La descarbonización en el sector aeronáutico

Memòria del Treball Fi de Grau

en

Gestió Aeronàutica

realitzat per

Montserrat Valcarce Borràs

i dirigit per

Xavier Verge Mestre

Escola d'Enginyeria

Sabadell, Juny de 2020

El sotasingnat, Xavier Verge Mestre
professor de l'Escola d'Enginyeria de la UAB,

CERTIFICA:

Que el treball al que correspon la present memòria
ha estat realitzat sota la seva direcció per

Montserrat Valcarce Borràs

I per a que consti firma la present.
Sabadell, Juliol de 2020

Signat: Xavier Verge Mestre

FULL DE RESUM – TREBALL FI DE GRAU DE L'ESCOLA D'ENGINYERIA

Títol del Treball Fi de Grau:	
La descarbonización en el sector aeronáutico	
Autor[a]: Montserrat Valcarce Borràs	Data: Juliol 2020
Tutor[a]/s[es]: Xavier Verge Mestre	
Titulació: Grau en Gestió Aeronàutica	
Paraules clau (mínim 3)	
<ul style="list-style-type: none">• Català:descarbonització, electrificació, vehicle elèctric.• Castellà:descarbonización, electrificación, vehículo eléctrico.• Anglès: decarbonisation, electrification, electric vehicle.	
Resum del Treball Fi de Grau (extensió màxima 100 paraules)	
<ul style="list-style-type: none">• Català: El projecte busca reduir les emissions de CO₂, orientant-se en l'electrificació de la flota de vehicles terrestres en l'aeroport, contribuint així a la reducció dels gasos contaminants i en conseqüència col·laborar amb el procés de descarbonització. Aquesta electrificació es proveirà d'energia fotovoltaica d'autoconsum encaminant així a aconseguir una gestió d'aeroport sostenible. A més, el vehicle elèctric representa una excel·lent oportunitat per a la millora de l'eficiència energètica i la reducció de la dependència del petroli en el sector del transport, Així dons podriem contribuir en la millora de la qualitat de l'aire a les ciutats.• Castellà: El proyecto busca reducir las emisiones de CO₂, orientándose en la electrificación de la flota de vehículos terrestres en el aeropuerto, contribuyendo así a la reducción de los gases contaminantes y en consecuencia colaborar con el proceso de descarbonización. Dicha electrificación se proveerá de energía fotovoltaica de autoconsumo encaminando así a conseguir una gestión de aeropuerto sostenible. Además, el vehículo eléctrico representa una excelente oportunidad para la mejora de la eficiencia energética y la reducción de la dependencia del petróleo en el sector del transporte, así como para la mejora de la calidad del aire en las ciudades.• Anglès: The project seeks to reduce CO₂ emissions, focusing on the electrification of the fleet of land vehicles at the airport, thus contributing to the reduction of polluting gases and consequently collaborating with the decarbonisation process. Said electrification will be supplied with self-consumption photovoltaic energy, thus leading to sustainable airport management. In addition, the electric vehicle represents an excellent opportunity for improving energy efficiency and reducing dependence on oil in the transport sector, as well as for improving air quality in cities.	

Índice

1	Introducción	6
1.1	Estado del arte y motivación	6
1.2	Objetivos	7
1.3	Resumen	9
2	Impacto medioambiental	11
2.1	El modelo energético en el horizonte 2050	11
2.2	Objetivos a conseguir en 2030:	12
2.3	Emisiones	12
2.3.1	Contaminación acústica:	14
2.3.2	Impacto visual:	14
2.3.3	Impacto sobre el uso del suelo:	14
2.3.4	Impacto asociado a la producción de residuos:	15
2.4	Ahorro económico	15
2.5	Ánálisis para la elección adecuada de un VE	18
3	El vehículo eléctrico:	19
3.1	Historia y evolución del vehículo eléctrico	19
3.2	Inconvenientes y ventajas	21
3.2.1	Inconvenientes	21
3.2.2	Ventajas	21
3.3	Tipos de vehículos:	22
3.3.1	Modelos con motor de combustión	22
3.3.2	Modelos híbridos	23
3.3.3	Modelos eléctricos	24
3.3.4	Coche eléctrico de pila de combustible de hidrógeno	25
3.4	Comparativa coche de combustión interna, eléctrico, híbridos o de hidrógeno	30
3.5	Transición al vehículo eléctrico	31
3.6	Mejora de la Eficiencia Energética	34
4	Baterías	35
4.1	Tipos de baterías	35
4.2	Garantías	38
4.3	Tipos de recarga	39
4.4	Tipos de recarga:	41
4.5	Modos de carga o nivel de comunicación	41

5	Tipos de conectores	42
5.1	El Conector Schuko	42
5.2	Conector Tipo 1 (SAE J1772)	42
5.3	Conector tipo 2 (IEC 62196-2).....	43
5.4	Conector tipo 3	43
5.5	Conector CHAdeMO.....	44
5.6	Conector Combo 2 (IEC-62196-3)	44
6	Puntos de carga.....	45
6.1	Infraestructura de recarga	45
7	Generación de energías	45
7.1	Energías renovables.....	45
7.1.1	Sistemas de generación eólico	45
7.1.2	Sistema de generación hidroeléctrico.....	47
7.1.3	Sistema de generación solar	48
7.1.4	Energía solar fotovoltaica.....	48
8	Estudio de viabilidad	50
8.1	Ejercicio práctico:.....	50
8.1.1	Costes de combustible	56
8.1.2	Costes de infraestructura:.....	58
8.1.3	Costes de la flota:	59
8.1.4	Costes de inversión	59
8.1.5	Costes de mantenimiento	59
9	Conclusiones.....	60
10	Bibliografía	63
10.1	Glosario ilustraciones	65
10.2	Glosario tablas	65
11	Recursos	66
12	Agradecimientos	66
13	Anexo.....	66

1 Introducción

1.1 Estado del arte y motivación

La contaminación medioambiental se ha convertido en uno de los retos del presente a nivel mundial, de ahí que la mayoría de los países estén tomando diferentes y muy variadas medidas.

En este sentido, la U.E ha declarado “la emergencia climática” al objeto de revertir el gradual proceso de contaminación y las graves consecuencias sobre el clima. Bruselas emite órdenes muy estrictas para mermar esta contaminación, en concreto, las emitidas por los coches y vehículos industriales, intentando reducirlas en torno a un 40% entre 2020-2030; ello supondrá un sobrecoste alto para los ciudadanos y un recorte en la industria del automóvil, pero, sin embargo, sólo supondrá menos del 1% de las emisiones de CO₂ a nivel mundial.

En la actualidad, en España se están emitiendo alrededor de 340.2 millones de toneladas de gases efecto invernadero¹ a la atmósfera; al objeto de invertir esta situación, que está generando un más que preocupante cambio climático, es preciso poner en marcha medidas encaminadas a frenar el calentamiento global, a la vez que, “descarbonizar la economía”, para ello es preciso abordar un cambio en el modelo económico global.

A parte de las emisiones de CO₂ existen otros contaminantes que, aunque no tienen tanta relevancia en cuanto al impacto negativo sobre el medioambiente, suponen graves consecuencias sobre la salud pública; tal es el caso del monóxido de carbono (CO) o de los óxidos de nitrógeno (NOX). Cabe destacar la importancia de este último contaminante, pues es el causante de los conocidos protocolos de anticontaminación desarrollados en ciudades como Madrid o París y que conllevan medidas extraordinarias como la reducción de los límites de velocidad.

En España el sector del transporte representó en el año 2016 un valor superior al 25% del total de emisiones de CO₂, de las que más del 60% fueron producidas por turismos, lo que significa un 15% del total de estas emisiones.² En cuanto a la contaminación generada en el sector aeronáutico cabe hacer una triple diferenciación:

1.- Las emisiones generadas por los aviones,

El Presidente de la compañía de bajo coste de Ryanair, Michael O’Leary, demuestra su preocupación por las emisiones globales de CO₂; Como alternativa a la reducción de estas emisiones sostiene que, “las líneas europeas han reducido su consumo de combustible por pasajero y kilómetro un 24% durante los próximos años”, las aerolíneas europeas se comprometen a lograr la descarbonización de la industria en 2050”.³

¹ Un Gas de Efecto Invernadero (GEI) es un gas atmosférico que absorbe y emite radiación dentro del rango infrarrojo. Este proceso es la fundamental causa del efecto invernadero.

² José González Pérez, ‘IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y ECONOMICO DEL VEHICULO ELECTRICO (VE)’ <[https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/19725/TFG-Gonzalez Perez%2CJose.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/19725/TFG-Gonzalez%2CJose.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>.

³ Michael O’Leary, ‘La Aviación Europea Fija La Descarbonización de La Industria En 2050’ <https://www.eldiario.es/economia/aviacion-europea-fija-descarbonizacion-industria_0_972553540.html>.

Otra de las propuestas encaminadas a una aviación sostenible con un precio asequible es la aplicación del cielo único europeo, dicha iniciativa persigue la gestión integrada del tráfico aéreo, que según la A4E (Airlines for Europe), "reduciría en un 10 % las emisiones de CO2".

En esta misma línea de aportar soluciones a la problemática de las emisiones generadas por el tráfico aéreo, Thomas Reynaert, alegó que, por el contrario, A4E "invertirá 1.700 millones de euros hasta 2030 para operar de manera más eficiente con aviones de última generación".⁴

2.- Emisiones derivadas de la actividad aeroportuaria

Además de las emisiones generadas directamente por los vuelos, la actividad aeroportuaria, aunque menor, también tiene su impacto. Me refiero a las emisiones adyacentes que surgen de la relación del tráfico de pasajeros, comercio e infraestructuras dependientes de estas, no obstante, dichas emisiones tampoco serán tratadas en su totalidad y no forman parte de los objetivos de este proyecto.

3.- Flota de vehículos del lado aire del aeropuerto:

Una parte no despreciable del grado de contaminación provocada por la actividad aeroportuaria (excluidos los vuelos) proviene de la flota de vehículos terrestres del lado aire del aeropuerto. En este proyecto nos centraremos en esta flota y las mejoras medioambientales que supondría su electrificación al reducir los gases contaminantes y con ello contribuir al proceso de la descarbonización.

1.2 Objetivos

El objetivo de este trabajo es evaluar la repercusión que tendrá la paulatina implantación del vehículo eléctrico en sustitución del vehículo de combustión tradicional, centrándose sobre todo en el CO2 y el NOX, por representar el mayor impacto. Teniendo en cuenta que las emisiones de NOX en las ciudades, se deben, casi exclusivamente a las emisiones de los vehículos diesel y gasolina, el efecto sobre las emisiones totales de dicho contaminante será más evidente. Como ejemplo, decir que en la ciudad de Madrid el tráfico rodado supuso en 2014 el 51,4% del total de emisiones de NOX del municipio.

Las emisiones de CO2 de los coches matriculados en España en 2017 registraron un total de 118 gramos/Km, es decir, un 0.4% más que en 2016; estos datos corroboran la necesidad de poner en marcha un cambio del modelo productivo, económico y social, en este caso del transporte.

En definitiva, el objetivo último de este trabajo es realizar análisis comparativos del coste de los vehículos gasolina-diesel/ eléctricos, teniendo en cuenta los costes de las infraestructuras de generación de energía eléctrica autónoma, a saber: paneles fotovoltaicos, puntos de recarga y baterías; así como los consumos de los diferentes combustibles, todo ello desde una perspectiva de valoración de contaminación medioambiental y acústica.

⁴ Thomas Reynaert, 'La Aviación Europea Fija La Descarbonización de La Industria En 2050' <https://www.eldiario.es/economia/aviacion-europea-fija-descarbonizacion-industria_0_972553540.html>.

En la medida que los diferentes agentes económicos sean capaces de incorporar los riesgos climáticos en coste y capital, se convertirán de un modo indirecto en facilitadores del cambio, abaratando los costes de aquellas actividades que contribuyen a la transformación sostenible de la economía.

En este sentido, la administración Pública, tanto estatal como autonómica, debe actuar de impulsor de dicho cambio, mediante subvenciones destinadas a incentivar la renovación del parque automovilístico; a este efecto están orientadas las ayudas del Plan Movalt 2017.⁵

Homologación	Categoría	MMTA	Límite precio venta	Ayuda estatal PYME	Ayuda estatal	Ayuda concesionario	
		-	-	-	Gran empresa	-	
		kg	Euros	Euros	-	Euros	
					Euros		
GLP o bifuel	M1	-	11.000	500		1.000	
			25.000	1.000			
	N1	Menor de 2.500.	-	500			
		Mayor o igual 2.500.		1.200			
	M2, N2	-		2.900	2.300		
	M3, N3	Menor de 18.000.		7.000			
		Mayor o igual 18.000.		15.000			
GN o bifuel	M1	-	25.000	1.200	1.000	1.000	
	N1	Menor de 2.500.	-	1.100	900		
		Mayor o igual 2.500.		1.400	1.100		
	M2, N2	-		2.900	2.300		
	M3, N3	Menor de 18.000.		8.000			
		Mayor o igual 18.000.		18.000			

Tabla 1 Fuente. Plan de apoyo a la movilidad alternativa 2017
Ministerio de Energía, Turismo y Agenda digital

⁵ Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital, ‘Plan Movalt’ <<https://www.ro-des.com/info/ayuda-compra-coches/plan-movalt-vehiculos/>>.

Homologación	Categoría	Autonomía	Potencia motor	Límite precio venta	Ayuda estatal PYME	Ayuda estatal	Ayuda concesionario
		-	-	-	-	Gran empresa	-
		km	kW	Euros	Euros	-	Euros
						Euros	Vehículo Adicional Punto de recarga
PHEV, EREV, EV	M1	-	-	-	5.500	1.000	-
		Entre 12 y menor 32.	-	32.000	1.300 1.100	-	-
		Entre 32 y menor de 72.	-		2.600 2.500	-	-
		Mayor o igual de 72.	-		4.300 3.200	-	1.000
	N1	Mayor o igual de 32.	-		6.300 5.000	-	-
		M2, N2	-		7.000 6.000	-	-
		M3, N3	-		15.000	-	-
	EV	L6e	-		1.200	-	150
		L7e	-		1.500	-	-
	L3e, L4e, L5e	Mayor o igual de 70.	Mayor o igual a 3.	8.000	750 700	-	-

Tabla 2 Fuente. Plan de apoyo a la movilidad alternativa 2017

Ministerio de Energía, Turismo y Agenda digital

1.3 Resumen

Mi proyecto busca reducir las emisiones de CO2 orientándose en la electrificación de la flota de vehículos terrestres en el aeropuerto, contribuyendo así a la reducción de los gases contaminantes y en consecuencia colaborar con el proceso de descarbonización.

Dicha electrificación se proveerá de energía fotovoltaica de autoconsumo encaminando así a conseguir una gestión de aeropuerto sostenible.

Centrándonos en el sector aeronáutico y dispuesta a poner mi grano de arena en cuanto a la concienciación de las medidas medioambientales, dicha contribución es la que me propongo a realizar mediante la electrificación de vehículos del lado tierra, en consonancia con uno de los objetivos dentro del marco del denominado Horizonte 2050.

En estos tiempos, hay una concienciación social creciente sobre la necesidad de reducir estas emisiones, que pasa por una movilidad sostenible, sobre todo en grandes ciudades que están densamente pobladas y contaminadas debido al uso de los vehículos de combustión.

Es por ello, que las autoridades públicas (gobiernos, ayuntamientos, gobiernos regionales,...) están llevando a cabo iniciativas para fomentar el uso de vehículos de bajas emisiones o de emisiones de CO2 nulas, como las de los vehículos eléctricos, poniendo tasas a los vehículos más contaminantes.

El sector del transporte es actualmente el mayor responsable del aumento de las emisiones de CO₂ de efecto invernadero, que a su vez son causantes del cambio climático. Es también un sector que cada día está más amenazado ante los potenciales escenarios de escasez del recurso energético que usa: el petróleo.

España está comprometida en la lucha contra el cambio climático, de ahí que en 2018 se hayan reducido las emisiones de CO₂ un 2.2% con respecto al 2017, no obstante nuestra huella de carbono fue un 15% más que en 1990.

Mi proyecto no es un caso aislado, pues otras empresas, como "Calidad Pascual" ya disponen de una flota de 500 híbridos enchufables y 100% eléctricos, lo cual supone una reducción de las emisiones de CO₂ de más del 25%.

Además, el vehículo eléctrico representa una excelente oportunidad para la mejora de la eficiencia energética y la reducción de la dependencia del petróleo en el sector del transporte, así como para la mejora de la calidad del aire en las ciudades.

Por otra parte, supone una oportunidad para la industria nacional de automoción y de la infraestructura de recarga, así como una valiosa herramienta para optimizar la gestión del sistema eléctrico de autoconsumo.

2 Impacto medioambiental

La legislación de la Unión Europea, supone un respaldo al coche eléctrico; la nueva normativa que entró en vigor el 1 de Enero de 2020 fijó un nivel de emisiones medias de 95 gr/km, lo cual viene a significar que la electrificación del transporte es un objetivo del presente, y no solo una previsión de futuro.

El sector eléctrico es uno de los que menor impacto ambiental provoca, de ahí que sea uno de los factores a considerar a la hora de proteger el medioambiente.

El impacto ambiental de una instalación fotovoltaica es muy bajo, este se comprueba analizando los siguientes factores ambientales:

- ❖ Emisiones atmosféricas y residuos radiactivos:
 - No emite gases contaminantes ni residuos radiactivos a la atmósfera.
 - Es una fuente de energía blanda, es decir, escasamente contaminante, la cual, tiene efectos positivos sobre la atmósfera, ya que no contribuye al efecto invernadero, a la generación de lluvia ácida o a la destrucción de la capa de Ozono.
 - Según los datos publicados por el Observatorio de la Electricidad WWF España (junio de 2016), el ahorro anual, cifrado en emisiones y residuos de este tipo de fuentes de energía se pueden cuantificar en:
 - Dióxido de carbono CO₂: 0,137 kg / kWh
 - Dióxido de azufre SO₂: 0,273 kg / kWh
 - Óxidos de nitrógeno NO_x: 0,200 kg / kWh
 - Residuos radiactivos de baja y media actividad: 0,00264 cm³/ kWh
 - Residuos radiactivos de alta actividad: 0,322 mg / kWh

Los vehículos eléctricos, además de tener una gran capacidad para reducir las emisiones de CO₂, también tienen un papel positivo en la reducción de otros gases contaminantes, quizás menos conocidos, pero muy perjudiciales para la salud, como pueden ser las partículas en suspensión (PM) o los óxidos de nitrógeno (NO_x).⁶

Estos elementos llegan a producir en núcleos urbanos problemas respiratorios, irritaciones o incluso muertes prematuras. Según algunos estudios, la reducción de este tipo de gases evitaría, de manera directa, un mínimo de 800 muertes al año en las grandes ciudades.

2.1 El modelo energético en el horizonte 2050

El compromiso europeo de reducción de emisiones de CO₂, según las previsiones del "Modelo energético en el horizonte 2050" supondrá para España que las emisiones se limiten hasta un valor muy reducido de entre 14 y 88 MtCO₂.

⁶ IDAE- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, 'El Vehículo Eléctrico Para Flotas' <https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_12144_G003_VE_para_flotas_2012_f3176e30.pdf>.

Este objetivo sólo se podrá alcanzar si el nuevo modelo energético pone en marcha simultáneamente las siguientes medidas de descarbonización:⁷

- Cambiar vectores energéticos, como el consumo de productos petrolíferos (siempre que haya una alternativa viable), por otros con menores emisiones, como el gas natural.
- Desarrollar un parque de generación eléctrica basado exclusivamente en energías renovables.
- Implantar medidas de eficiencia energética para no desperdiciar energía en consumos innecesarios.

La transición debe ser una transición sólida y flexible. Es necesario contar con todas las tecnologías y energías disponibles en este periodo. Prescindir prematuramente de la energía nuclear, del carbón, o de los productos petrolíferos entre hoy y 2030 supondría poner en riesgo la eficiencia económica de la transición o la seguridad de suministro.

2.2 Objetivos a conseguir en 2030:

- Los coches eléctricos deberían suponer para ese año entre el 7% y el 10% del total.
- Entre el 20% y el 25% del transporte de mercancías se tendría que hacer por ferrocarril eléctrico y entre el 34% y el 46% por camiones que deberían usar gas natural.
- El consumo eléctrico de los hogares y empresas tendría que representar hasta el 65% del total.
- El ritmo de inversión en renovables para cumplir los objetivos de 2030 debería ser similar al alcanzado entre 2001 y 2012.

2.3 Emisiones

La aviación Civil emite entre el 3 y el 5% del CO₂ a nivel mundial, lo cual supone 900.000 millones de toneladas de este gas a la atmósfera; Las previsiones para el 2040 se triplicarán, lo cual significará que este sistema de transporte sea todavía más contaminante que las centrales térmicas convencionales. Ello tendrá consecuencias muy negativas para el medioambiente, a saber: la emisión de 1 tonelada de CO₂ contribuye al deshielo de aproximadamente 3 m² de hielo en el Ártico.

Ante tal perspectiva, se plantean una serie de alternativas que logren minimizar estos efectos negativos, cabe destacar entre otras:

- Políticas de concienciación ciudadana para volar menos
- Fomentar los desplazamientos en tren inferiores a 200 km
- Restringir la construcción de nuevos aeropuertos

⁷ Monitor Deloitte, 'Un Modelo Energético Sostenible Para España En 2050 Recomendaciones de Política Energética Para La Transición' <<http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0726292.pdf>>.

- Dedicar mayores inversiones en I+D+I para construir aeronaves menos contaminantes, un claro ejemplo de ello son las alas de carbono del A-350 que contribuyen a reducir un 28% del consumo, ya que se reduce un 20% el peso y en consecuencia menores emisiones de CO2.
- Impuesto al queroseno
- Iniciativa Corsia: proyecto que consiste en la compra de derechos de CO2, para el 2027 está previsto que las compañías aeronáuticas destinen a tal objetivo entorno a 40.000.000.000 €, capital que será invertido en políticas tales como: captación de CO2 ó reforestación.
- Por su parte las compañías aeronáuticas abogan por la implantación del “Cielo Único Europeo”, lo cual supondría una reducción de aproximadamente 10.000.000 de toneladas de CO2/año.

El prototipo del avión eléctrico, que en estos momentos está en fase experimental, pretende ser una alternativa sostenible al transporte de pasajeros; las pruebas piloto realizadas pretenden transportar 100 pasajeros en distancias equiparables al trayecto Londres- Ámsterdam.

Mi proyecto va encaminado a reducir las emisiones de CO2 orientándose a la electrificación de la flota de vehículos terrestres en el aeropuerto, contribuyendo así a la reducción de los gases contaminantes y en consecuencia colaborar con el proceso de descarbonización.

Dicho objetivo está en consonancia con las políticas de descarbonización estudiadas son las propuestas por la Comisión Europea, que entre otras persiguen los siguientes objetivos de reducción de emisiones:

- 1) Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en un 40% para 2030, respecto a los niveles de 1990.
- 2) Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en un 80% para 2050, respecto a los niveles de 1990.
- 3) Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del sector transporte en un 60% para 2050, respecto a los niveles de 1990.

A tal efecto, la Unión Europea propone una serie de medidas que contribuyen a la consecución de dichos objetivos, a saber:

El desarrollo e implementación del EU Emissions Trading System, un mercado internacional de emisiones, en el contexto europeo.

- a) La monitorización de los Estados Miembros en la reducción de emisiones.
- b) Una revisión y actualización de la legislación vigente para elevar la penetración de las fuentes de generación renovables.
- c) Incrementar la eficiencia energética a través de herramientas domóticas.
- d) El desarrollo y mejora de las tecnologías que intervienen en la recogida de carbón en las estaciones de generación e instalaciones industriales.

Para conciliar los objetivos de descarbonización propuestos en este trabajo con los recomendados por la Comisión Europea se han tenido en cuenta las siguientes medidas

- ✓ Únicamente se tendrán en cuenta las emisiones de CO₂.
- ✓ Recopilación de información de las emisiones de 1990 y actuales de los sectores de la electricidad y del transporte.
- ✓ Se han tenido en cuenta los objetivos de descarbonización de 40% y 80% para 2030 y 2050, respectivamente.
- ✓ Imposición de una reducción de emisiones lineal, desde el año inicial del modelo hasta el 2037.

2.3.1 Contaminación acústica:

Junto a la polución provocada por los vehículos con motores de combustión interna, otro de los problemas asociados al tráfico de estos vehículos es dicha contaminación.

En este capítulo, el vehículo eléctrico cuenta con una enorme ventaja: no emite prácticamente ruido alguno, aparte del ruido producido por la rodadura del propio vehículo, los motores eléctricos emiten muy pocos decibelios, apenas perceptibles.

Pasar muchas horas al volante de un coche silencioso y sin vibraciones producidas por un motor de combustión es un hecho que sabrán valorar de forma muy positiva los conductores de vehículos eléctricos de la flota.

Pero la ausencia de ruido provocado por los VE también es motivo de preocupación, ya que puede hacerlos imperceptibles para el resto de vehículos y personal de la instalación. Estas críticas han hecho que algunos fabricantes están estudiando la incorporación de algún tipo de sonido a sus futuros vehículos eléctricos.

2.3.2 Impacto visual:

El impacto visual puede mitigarse ubicando de manera correcta la instalación fotovoltaica, por ello se ha estudiado una adecuada integración arquitectónica en la cubierta de los hangares u otras naves, de ahí que se pueda considerar que el impacto visual sea imperceptible.

2.3.3 Impacto sobre el uso del suelo:

Al tratarse de un sistema fotovoltaico aislado es necesario instalar la fijación en tierra en cada emplazamiento donde se ubique esta.

La erosión será mínima en la fase de construcción, el único momento en el que se erosionara será a la hora de enterrar los anclajes o fijaciones de los soportes que sustentan la instalación.

Por tanto, el efecto de incremento en la erosión se considera mínimo.

2.3.4 Impacto asociado a la producción de residuos:

El principal impacto ambiental se produce en la extracción de la materia prima, ya que aunque la mayoría de las células fotovoltaicas se fabrican de silicio, material obtenido a partir de la arena y por tanto muy abundante en la naturaleza, es necesario transformarlo con alto consumo de energía.

Los vehículos eléctricos no emiten ningún tipo de gases contaminantes durante su funcionamiento. Al igual que ocurre cuando hablamos de eficiencia energética, en el proceso 'Tank to Wheel' (del tanque a la rueda), el vehículo eléctrico muestra esta sustancial ventaja respecto a los vehículos de motor de combustión interna. Y no sólo en lo que al CO₂ se refiere, el cual es el principal gas de emisión causante del calentamiento global del planeta, sino también de otros gases y partículas contaminantes nocivas para la salud humana y el medio ambiente.

Según estimaciones realizadas, con la introducción de 1.000 vehículos eléctricos en una ciudad se dejarían de emitir más 30.000 kg anuales de gases contaminantes (incluyendo CO, NOx, HC...) y más de 2 toneladas de CO₂; Teniendo en cuenta que nuestra flota la componen un total de 955 vehículos, la contribución en cuanto a la reducción de gases contaminantes sería similar.

También en este capítulo es prudente y necesario hacer una análisis de conjunto 'Well to Wheel' (desde el pozo a la rueda), lo que incluye el coste energético y medioambiental de generar la electricidad destinada a mover los vehículos eléctricos. En este caso, hemos de considerar que buena parte del impacto medioambiental vendrá determinado por la fuente primaria de energía utilizada para generar la misma. Así, si tomamos como dato de referencia que en España se emiten 277 gramos de CO₂ para producir un kWh (mix energético medio en 2011) de electricidad y transportarla y distribuirla hasta el punto de consumo, podemos decir que un VE puede ahorrar durante su vida útil entre 10 y 30 toneladas de CO₂ respecto a un vehículo convencional. La diferencia entre ambas cifras viene determinada por las distintas alternativas tecnológicas utilizadas para la generación de la electricidad.

2.4 Ahorro económico

Actualmente el precio de adquisición de un VE es superior al de un vehículo, equivalente en prestaciones, con motor de combustión interna. Este hecho entra dentro de la lógica teniendo en cuenta que toda nueva tecnología, a la que le queda mucho por evolucionar en este caso, tiene un sobre coste. Pero como en todo vehículo de flota, el precio de adquisición inicial no es el único elemento que debe determinar la elección de un vehículo sobre otro. También han de ser considerados los costes operativos y de utilización durante el ciclo de vida que tendrá el vehículo dentro de la empresa, lo que nos proporcionará valores de referencia para el conocido 'coste de propiedad del vehículo' (TCO)⁸

Dentro de las diferentes partes de un VE, la batería es el sistema que provoca gran parte del encarecimiento del VE respecto al vehículo convencional, pudiendo suponer hasta el 60% del precio del vehículo. Pero como dicen algunos expertos, este sobre-coste de las baterías es como si al comprar un vehículo de combustión interna nos hicieran abonar por adelantado más del 60% del combustible que vamos a consumir en los próximos años.

⁸ IDAE- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.

Dejando de lado el coste de las baterías, conviene señalar que la arquitectura técnica del VE - con un 90% menos de componentes que un vehículo de combustión interna- permite que los costes de mantenimiento sean muy inferiores a las de un vehículo convencional.

No debemos olvidar las diferencias de coste energético, a saber: la diferencia de precio, entre el litro de derivados del petróleo (gasolina y gasóleo) y el coste del kW/h., es enorme (hasta 8 veces inferior), lo que permite que se equilibren los costes de propiedad entre las dos tipologías de vehículos.

En la Tabla 4 podemos ver una comparativa entre los costes de un VE y un vehículo diesel equivalente, donde también se tienen en cuenta las ayudas y subvenciones ofrecidas por el Gobierno de España para las flotas de vehículos eléctricos.

En cuanto a las ayudas estatales a la movilidad ecológica, cabe decir que "El Consejo de Ministros ha aprobado este martes un Real Decreto por el que se articula la segunda edición del Programa de Incentivos a la Movilidad Eficiente y Sostenible (Moves), que cuenta con una dotación presupuestaria de 100 millones de euros y que dará ayudas a la compra de vehículos eléctricos de 5.500 a 15.000 euros, a los que se sumarán 1.000 euros adicionales aportados por los fabricantes. Tabla 3

Las ayudas a la compra de vehículos alternativos recogidas en la segunda edición del Moves varían entre los 600 y los 15.000 euros, en función del tipo de vehículo adquirido, que podrá ser un coche, una motocicleta, un vehículo comercial, un autobús o un camión, mientras que las motorizaciones subvencionables son híbridos enchufables, eléctricos o de gas, este último solo para transporte pesado."⁹

En el supuesto del caso práctico que nos ocupa se podrían acoger los siguientes beneficios: 5.500,00€ para los vehículos ligeros y 15.000,00€ para los pesados; a lo cual se tendría que incrementar esta ayuda con 1.000,00€ por vehículo por parte de los fabricantes. Para beneficiarse de estas ayudas, es preciso cumplir el requisito de achatarrar los vehículos convencionales con una antigüedad superior a 10 años, lo cual en el caso del estudio se cumple, pues toda la flota de combustibles fósiles es superior a los años exigidos.

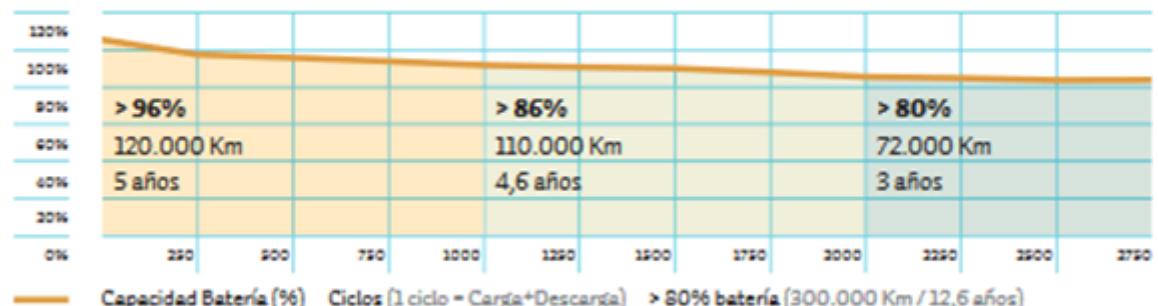
Tipo de vehículos	Unidades	Ayuda pública	Ayuda fabricante
Ligeros	100	5.500,00 €	1.000,00 €
Industriales	339	8.000,00 €	1.000,00 €
Pesados	516	15.000,00 €	1.000,00 €
Total	955		
Total subvención		31.500,00 €	

Tabla 3. Ayudas: pública y del fabricante. Plan Moves 2020

Todas estas ayudas contribuirán tanto en los costes de adquisición de la flota electrificable como en la amortización de esta.

⁹ Híbridos y Eléctricos (HyE), 'Plan Moves 2020: Ayudas de Hasta 6.500 Euros Para Comprar Coches Eléctricos' <<https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/plan-moves-2020-ayudas-5500-euros-comprar-coches-electricos/20200616145132035949.html>>.

Modelo	Furgoneta Electric Fiat	FIORINO Li (S)
Autonomía	120 Km	Ruta urbana
P.V.P	43.500 €	Incluye batería y ayuda del Gobierno



TCO COMPARATIVO FURGONETA DIESEL VS ELECTRIC FIAT DUCATO LI(S)

	ELECTRIC FIAT FIÖRINO	FURGONETA DIESEL
Coste Adquisición Vehículo	23.500 €	14.000 €
Autonomía ruta día	90 Km	90 Km
Días de servicio	260 d	260 d
Kilómetros anuales	23.400 km	23.400 km
Mantenimiento eléctrico anual	300 €	-
Mantenimiento mecánico anual	300 €	1.200 €
Coste Adquisición Baterías	20.000 €	-
Vida útil	7 años *	5 años
Consumo energético	17,50 kWh/100Km	10,00 litros/100Km
Coste energético	0,09 €/kWh**	1,35 €/litro
Coste energético/Km	0,02 €	0,14 €
Consumo energético anual	369 €	3.159 €
Consumo energético mensual	31 €	263 €

*La vida útil de la batería estimada en 300.000Km / **Tarifa nocturna pública de cualquier compañía energética.

REDUCCIÓN DE EMISIÓNES EN CIRCULACIÓN

	ELECTRIC FIAT FIÖRINO	FURGONETA DIESEL
Emisiones CO2 (g/Km)	0	120
Emisiones año (Kg CO2)	0	2.808
Emisiones vida útil (Kg CO2)	0	14.040

Tabla 4 Guía del vehículo eléctrico para flotas, IDAE

De dicha comparativa podemos deducir que aunque el coste de adquisición del vehículo sea mayor este se ve compensado por los consumos energéticos tanto mensuales como anuales ya que son 10 veces superior el diesel con respecto al eléctrico. Por lo que a medio y largo plazo las diferencias se reducen e incluso son más rentables las que presenta el VE a las del fuel-oil.

Además, la cifra de emisiones de gases contaminantes son, si cabe, más desproporcionadas, ello abunda en la viabilidad de este proyecto, es decir, la sustitución de los vehículos de combustión interna por VE no solo es rentable económicamente, como ha quedado demostrado en la tabla anterior, sino que además contribuyen de forma eficiente a conseguir el deseado objetivo de la descarbonización y en consecuencia colaboran con el respeto al medio ambiente.

Vehículo y modelo	Tipo	Pot. (cv)	l/100km	€/kWh - €/litro	€/100km	AHORRO
Seat León 1.4 TGI	gasolina	110	3,8	1,44	5,50 €	379 €
Mazda 6 2.0 Skyactiv	gasolina	145	5,5	1,44	7,90 €	619 €
Ferrari 458 Italia 4.5 F1	gasolina	570	13,3	1,44	19,15 €	1744 €
Fiat Punto 1.4 GLP BiFuel	GLP	77	7	0,74	5,20 €	349 €
Opel Corsa 1.3 CDTI	diesel	95	3,3	1,33	4,40 €	269 €
Audi A4 2.0 TDI	diesel	150	4,5	1,33	6,00 €	429 €
Nissan Qashqai 1.5 dCi 4x2	diesel	110	3,8	1,33	5,00 €	329 €
Lexus CT200h	Híbrido	136	2,1	1,44	3,00 €	129 €
Toyota Prius Plug-In Hybrid	Híbrido enchufable	136	3,6	1,44	5,20 €	349 €
VE MEDIO	Eléctrico	96	-	0,136366	1,71 €	-
Smart Fortwo EV	Eléctrico	75	-	0,136366	1,66 €	-5 €
Nissan Leaf	Eléctrico	109	-	0,136366	2,36 €	65 €
Tesla Model S	Eléctrico	360	-	0,136366	2,73 €	102 €

Tabla 5. Comparativa coche eléctrico vs coche de combustión. Electromovilidad.com

En esta tabla podemos observar la gran diferencia que hay en cuanto a los consumos estimados en €/Km, entre los coches eléctricos/híbridos y los diesel/gasolina. El ahorro aquí referenciado, es aplicable a los vehículos ligeros de la flota del aeropuerto.

2.5 Análisis para la elección adecuada de un VE.

Los criterios a tener en cuenta para una elección adecuada de un VE de la flota a implementar son: las prestaciones, características técnicas del vehículo y la capacidad de carga.

Al evaluar la incorporación del vehículo eléctrico en nuestra flota, debemos analizar en primer lugar si existen áreas de actuación o influencia, tanto geográfica como operativa, en los que los VE puedan desenvolverse sin problemas y tengan puntos de carga próximos. Los más apropiados son aquellos en los que la autonomía diaria está definida, duerman en base y tengan rutas predeterminadas, lo que hace que el proyecto sea óptimo y adecuado para la implantación de dichos vehículos a la flota.

Lo recomendado es empezar con una flota reducida de vehículos en aeropuertos estratégicos para observar y analizar los posibles riesgos, ventajas e inconvenientes.

Aena desarrolló de 2011 a 2014 un proyecto piloto para valorar la viabilidad de la implantación del vehículo eléctrico en el entorno aeroportuario, incorporando para ello en los aeropuertos de Adolfo Suárez Madrid-Barajas, Barcelona-El Prat, Palma de Mallorca y Lanzarote, una flota compuesta por un total de 26 vehículos eléctricos con un sistema asociado de telemetría que ha permitido obtener datos dinámicos del vehículo para su posterior análisis. Adicionalmente se instalaron para este proyecto 53 estaciones de recarga repartidas en entre los aeropuertos que participaron en este proyecto.¹⁰

El proyecto pretende ampliar los objetivos anteriormente expuestos, es decir, realizar un autoabastecimiento en tanto en cuanto a la generación de energía y recarga de las baterías, ya sea mediante la energía fotovoltaica o minieólica.

Uno de los factores más importantes a la hora de realizar una elección adecuada de un VE es el tipo de batería según las necesidades requeridas, por tal motivo más adelante haré un breve análisis de las diferentes baterías que hay actualmente en el mercado.

¹⁰ AENA, 'Proyectos Ambientales' <<http://www.aena.es/es/corporativa/proyectos-ambientales.html>>.

3 El vehículo eléctrico:

3.1 Historia y evolución del vehículo eléctrico

Los vehículos eléctricos se empezaron a utilizar mucho antes que los de combustión interna (Diesel o gasolina). En 1828, Ányos Jedlik inventó un modelo embrionario de motor eléctrico, creando un pequeño coche alimentado por este motor. En 1834, el herrero T. Davenport construyó un artilugio similar que circulaba por una pista circular electrificada. En 1835, S. Stratingh fabricó un coche eléctrico alimentado por baterías no recargables de células primarias. En 1839, Robert Anderson inventó el primer “vehículo” eléctrico de la historia, se trataba de un carruaje equipado con un motor eléctrico que alcanzaba los 6 km/h impulsado por un motor eléctrico alimentado por una pila de energía no recargable.



Ilustración 1 Flocken Elektrowagen el olvidado primer VE 1888(Fuente: Wikipedia)

Aunque no fue hasta 1859, cuando se inventaron las primeras baterías recargables, con la batería de plomo-ácido de G. Planté. A partir de 1880 se comenzaron realmente a fabricar en serie. Fue a partir de 1900 cuando los coches eléctricos se impusieron claramente a los otros medios de transporte, como a “los sucios” carruajes tirados por caballos. Tanto es así que en el año 1900 en EE UU, casi el 30% de los coches eran eléctricos.¹¹

En 1911, Thomas Edison introdujo nuevos modelos de baterías recargables de níquel-hierro, que permitían una autonomía razonable para la época y velocidades de hasta los 130 km/h. Este sería el momento de máximo auge de los coches eléctricos, llegando a representar el 90% de las ventas, contra un 10% de ventas en coches de gasolina. Estos últimos, en aquellos tiempos eran ruidosos (mucho más que los caballos), difíciles de conducir por sus rudimentarios sistemas de cambios de marchas, con bajas prestaciones y con un sistema de arranque mediante manivela que no gustaba nada a las clases altas de la sociedad, consumidores de estos vehículos.

Todo cambió en 1912 cuando Henry Ford introdujo el motor de arranque para los coches de gasolina y estos se fabricaron en serie, ampliando así sus prestaciones, comodidad y facilidad de manejo. Todo coincidió con la bajada del precio del petróleo, la deficiente y precaria distribución de la energía eléctrica del momento y la valoración de la autonomía como un valor determinante.

¹¹ Wikipedia, ‘Historia Vehículo Eléctrico’ <https://es.wikipedia.org/wiki/Vehículo_el%C3%A9ctrico#Historia>.

Esta autonomía se transformó en un tema prioritario desde el punto de vista de la estrategia bélica de las Guerras Mundiales, principal motivo de la “primera muerte” del coche eléctrico a principios del siglo XX.¹²

En estas fechas existían tres tipos de energía que competían por hacerse el control: eléctrica, vapor y motores de combustión interna, pero finalmente la gasolina resultó ser la que más mercado tenía, escogiéndose esta para los vehículos. Hasta mediados de los 60 los vehículos eléctricos casi desaparecieron, y a partir de aquí, comienzan a aparecer algunos modelos en el sector industrial, como el carrito de golf eléctrico y pequeños coches urbanos.

No fue hasta hace muy poco, cuando empezaron a aparecer algunas iniciativas legislativas de exigir vehículos de emisión cero, por lo que esto lleva a las grandes compañías a investigar en el campo de los vehículos eléctricos. Concretamente, existe una política de desarrollo sostenible que implica la reducción de la demanda de vehículos de combustión interna. Estas políticas unidas al avance de las energías renovables han hecho que los vehículos eléctricos vuelvan a tener algo de importancia, y se espera que esta vaya aumentando a lo largo de los años.

Las razones para que este tipo de vehículos cobre importancia son obvias:

- La inseguridad del abastecimiento del petróleo, que supone más del 90% de la energía consumida.
- Altos precios del petróleo
- Las emisiones de CO₂
- La contaminación que genera el petróleo.

El descubrimiento de grandes reservas de petróleo a nivel mundial conllevó una mayor disponibilidad de los derivados de este (gasolina y diesel), convirtiendo estos coches más eficientes para largas distancias. Los vehículos de gasolina fueron cada vez más manejables gracias a la invención del motor de arranque eléctrico, a la vez que menos ruidosos con la incorporación del silenciador.

Por último, la producción en masa introducida por H.Ford redujo drásticamente su precio, mientras que los eléctricos siguieron aumentando, de ahí que, en 1912, un coche eléctrico valía el doble que uno de gasolina. A partir de 1920, el apogeo de los coches eléctricos había pasado, y una década más tarde, la industria de automóvil eléctrico había desaparecido.

No obstante hoy día, afirmar que el coche del futuro tendrá alguna forma de electrificación no es un mero augurio, sino más bien una certeza. Las diferentes opciones, a saber: híbridas, híbridas ligeras e híbridas enchufables están ya disponibles en el mercado o lo harán pronto. Se espera que para 2021 el consumidor pueda elegir entre casi un centenar de modelos, frente a los 20 que se ofertaron en 2018.

¹² Periodista digital, ‘Coche Eléctrico: ¿Sabés Cuándo Se Inventaron y Quién Fue El Genio?’ <<https://www.periodistadigital.com/economia/e-motor/hibrido-ecologico/20180223/coche-electrico-inventaron-genio-noticia-689400467030/>>.

3.2 Inconvenientes y ventajas

3.2.1 Inconvenientes

1. Carga de las baterías y precio. Para evitar este problema sería necesario cambiar las baterías descargadas por otras con carga de manera inmediata. Para ello las baterías deberían adaptarse perfectamente de manera de pudiesen cambiarse rápidamente y que esto fuese factible tanto de forma total como fraccionada.
2. Menor autonomía que un coche convencional dado que necesita recargas frecuentes, que hace que estos vehículos eléctricos sólo puedan circular unos 100 a 150 Kilómetros con una carga completa.
3. El fuerte costo de compra inicial. En algunos casos el precio de un coche eléctrico triplica al de un coche convencional.
4. Coste elevado de la infraestructura de las estaciones de carga.

3.2.2 Ventajas

5. Su mantenimiento y costo del "combustible" es mucho menor al de uno convencional. Hoy día hay motores eléctricos casi con una potencia igual que uno de gasolina, y con un coste inferior.
Si nos ponemos a analizar y comparar motores eléctricos y de combustión interna de la misma potencia, seguramente nos sorprendamos al saber que los primeros son más baratos, más compactos e incluso más fiables, puesto que no necesitan apenas complementos. En el caso del motor tradicional, cualquier fallo en el sistema de refrigeración, del aceite o alguno de sus componentes puede dejar inutilizado el motor. El eléctrico carece de estos componentes, por lo que puede ser una alternativa mejor y más barata de producir y mantener.
6. Mayor eficiencia y máximo par motor a partir de 0 revoluciones y la total ausencia de marchas (en caso de tener transmisión la misma puede aprovechar la potencia de manera más eficiente sin retardo alguno), lo que se traduce en mejor respuesta en aceleración. Solo necesitará un simple mecanismo para poder diferenciar cuando estamos dando marcha atrás.
7. A nivel sonoro son muy poco ruidosos, mucho menos que uno coche de gasolina. Y esto es un punto ventajoso porque no sólo encontramos contaminación atmosférica, sino que también existe la acústica, y en este caso, es mínima.
8. Según Francisco Laverón, Miguel Ángel Muñoz y Gonzalo Sáenz de Miera, un coche consigue una eficacia de un 77 % si la electricidad procede de fuentes renovables, mientras que un 42 % si procede de energía eléctrica basada en gas natural. Además estos autores aseguran que un coche eléctrico podría recorrer casi el doble de kilómetros que uno de gasolina.
9. No necesitan combustible para funcionar, simplemente convierten la electricidad que consumen en energía gracias a su motor, ya que pueden recargar su batería mediante el frenado regenerativo, prolongando así la vida útil de las balatas del sistema de frenado, lo cual aumenta su autonomía. Estos vehículos prescinden de combustible fósil, ahorran petróleo, una materia prima limitada y altamente contaminante, que se puede orientar a satisfacer otras necesidades, es decir, que son muy respetuosos con el medio ambiente.

10. Al no tener tantos componentes el motor hace que el espacio sea mayor y mejor aprovechado para otros habitáculos del coche. Aun así los fabricantes siguen haciendo los coches con "morro" por tema de diseño.
11. En la actualidad, la tecnología de las baterías ha mejorado para ofrecer una autonomía casi similar a algunos vehículos de combustión interna de reducida cilindrada, en modelos más grandes incluso pueden tener las mismas comodidades, a la vez que los usuarios se acostumbran a nuevos hábitos de conducción.
12. Se prevé también que en un futuro los mismos vehículos puedan suministrar energía suplementaria a la red eléctrica, o proveer suministro a bloques de pisos, durante ciertos períodos de tiempo como contingencias eléctricas (para esta modalidad se desarrollan los sistemas "Vehicle 2 Grid" o V2G).
13. La escasa accesibilidad que existe en cuanto a las recargas, en mi proyecto queda solucionado ya que estas estarán garantizadas por la generación autónoma de la infraestructura de energías renovables propias (paneles fotovoltaicos y microaerogeneradores).

El esquema del sistema de propulsión de un vehículo eléctrico es el siguiente:¹³

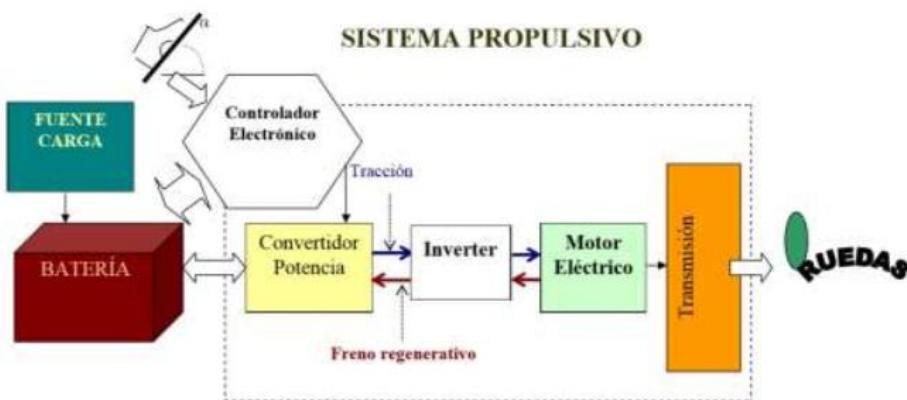


Ilustración 2 Sistema de propulsión. Fuente: TFG Aitor González Martín

3.3 Tipos de vehículos:

3.3.1 Modelos con motor de combustión

Estos son los vehículos tradicionales, equipados con un motor alimentado por combustible fósil, generalmente gasolina o gasóleo, aunque hoy también podemos encontrar la posibilidad de encontrar mecánicas alimentadas por gas licuado del petróleo o GLP.

Este tipo de modelos constan de un motor que quema una mezcla de combustible y aire para producir una explosión, que es la que genera el movimiento.

¹³ Aitor González Martín, 'VALORACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DEL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO E HÍBRIDO FRENTE AL AUTOMOVIL CONVENCIONAL COMO SOLUCIÓN PARA UN PARTICULAR/EMPRESA' <<https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/1009/PFC000005.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

Los vehículos de gasolina suelen disponer de un consumo un poco más elevado, mientras que los diesel o de gasóleo tienen un consumo más comedido. Las nuevas tecnologías, como la inyección directa o la sobrealimentación, han permitido acercar los rendimientos entre ambos motores más que nunca, aunque no significa que ambos tipos sean idóneos para todo tipo de usos.

El vehículo diesel sigue siendo más recomendable para aquellos que recorren más kilómetros o que suelen emplear más autopista o autovía. Aquellos conductores que sepan que su uso va a ser mayoritario en ciudad no se deberían plantear nunca un motor de gasóleo, a pesar de lo atractivo que pueda resultar la potencia y el consumo de los actuales turbodiésel.

A estos se le suma la posibilidad de contar con el GLP o Autogas, un gas derivado del petróleo que resulta actualmente más económico al repostar y que puede ser empleado en vehículos ya preparados desde fábrica, los menos, o los equipados con un kit *aftermarket*, la fórmula más habitual.

Para poner en marcha este sistema, se necesita montar un segundo depósito para el gas y realizar modificaciones en la inyección, lo que permitirá que el motor pueda quemar el gas (aunque también puede seguir funcionando con gasolina).

Las ventajas son claras, a pesar de que aumenta ligeramente la cifra de consumo: repostar gas es considerablemente más barato, contamina mucho menos mientras quema gas y el motor disfruta de una combustión también más limpia.

Esta solución es ideal para aquellos que no precisen o no deseen un diesel, y tampoco asumir el precio de la gasolina. El inconveniente: la escasez de estaciones de servicio con este tipo de combustible.

3.3.2 Modelos híbridos

Constituyen la mayor novedad tecnológica del mercado, puesto que los eléctricos ya existían a principios del siglo XX. En este caso, se recurre a motores de combustión convencionales, a los que se les suma un segundo motor, de tipo eléctrico, que está alimentado por unas baterías de alto-voltaje/tracción. Generalmente, puede operar con cualquiera de los dos motores, o con ambos a la vez en el caso de precisar de más potencia.

Actualmente, en el mercado se encuentran modelos que también permiten enchufar las baterías de alto-voltaje/tracción para ser recargadas, denominados Plug-in Hybrid o híbridos enchufables.

El uso es simple, durante unos kilómetros o al iniciar la marcha podemos emplear el motor eléctrico, sin gastar combustible, y para viajes largos o cuando precisemos de mayor potencia, entra en funcionamiento el motor de combustión, operando como un vehículo convencional con su rango de autonomía habitual.

Estos modelos son ideales para aquellos que realicen trayectos cortos habitualmente, que estén dentro del rango eléctrico del vehículo, sin necesidad de emplear el motor de combustión o minimizando su uso al máximo.

3.3.3 Modelos eléctricos

Los nuevos modelos de vehículos eléctricos se están abriendo un hueco importante, sobre todo porque las últimas generaciones de baterías de alto-voltaje/tracción están permitiendo un mayor alcance del vehículo. Y antes de que acabe esta década, la oferta de modelos de este tipo se habrá multiplicado.

Actualmente se encuentran dos tipos de eléctricos:

- Los eléctricos puros, con un motor eléctrico alimentado por baterías de alto-voltaje/tracción.
- Los eléctricos de rango extendido, que añaden un pequeño motor de combustión pero no para mover las ruedas, sino para generar electricidad y alimentar así las baterías, ampliando su autonomía.

Los eléctricos que están a punto de llegar al mercado prometen autonomías propias de motores convencionales, cercanas a los 400 kilómetros en uso real, por lo que pueden ser empleados a diario por la gran mayoría de consumidores.

Por lo que son una buena alternativa dentro de la funcionalidad en el lado aire del aeropuerto.

	Kilómetros	Uso	Autonomía	Mantenimiento	Emisiones NOX
Gasolina	Menos de 15.000 kms/año	Ciudad-Carretera	500-600 kms/depósito	Cada 15.000 kms	109 g/km
Diésel	Más de 15.000 kms/año	Carretera	800 kms/depósito	Cada 20.000 kms	138 g/km
Híbrido	Más de 15.000 kms/año	Ciudad-Carretera	700-750 kms/depósito	Cada 15.000 kms	89 g/km
Eléctrico	-	Trayectos urbanos o desplazamientos cortos	200-250 kms/recarga	Cada 20.000 kms	0 g/km

*Estos valores de la tabla son orientativos. Los valores hacen referencia a vehículos con potencias similares y del mismo segmento.

Tabla 6. Comparativa coche Gasolina, Diesel, Híbrido y Eléctrico

3.3.4 Coche eléctrico de pila de combustible de hidrógeno

3.3.4.1 Funcionamiento

A diferencia de un automóvil eléctrico, el de pila de combustible no se recarga mediante un enchufe. En su lugar dispone de unos tanques de hidrógeno que mezclan dicho gas con oxígeno para generar la propulsión del vehículo.

La principal ventaja de este tipo de vehículos es que funcionarían más tiempo y necesitarían un menor número de recargas, y en contraposición estaría que dicho tipo de vehículos están en una fase muy precoz de estudio y desarrollo.

El proceso electroquímico resultante de mezclar oxígeno e hidrógeno se produce en la pila de combustible y genera energía eléctrica, además de agua. Mientras la electricidad resultante se almacena en las baterías para ir nutriendo el motor, el agua restante, en forma de vapor, se expulsa. Efectivamente, los coches de hidrógeno sólo emiten vapor de agua por el tubo de escape.

El procedimiento exacto y más esquematizado sería el que sigue:

1. El hidrógeno almacenado en los tanques abastece la pila de combustible.
2. Se inyecta aire (oxígeno) a las celdas de combustible que conforman la pila.
3. La reacción del oxígeno del aire y el hidrógeno almacenado dentro de las celdas genera tanto electricidad como agua.
4. La electricidad producida alimenta la batería, la cual a su vez abastece al motor.
5. El agua sobrante se expulsa mediante el sistema de escape.

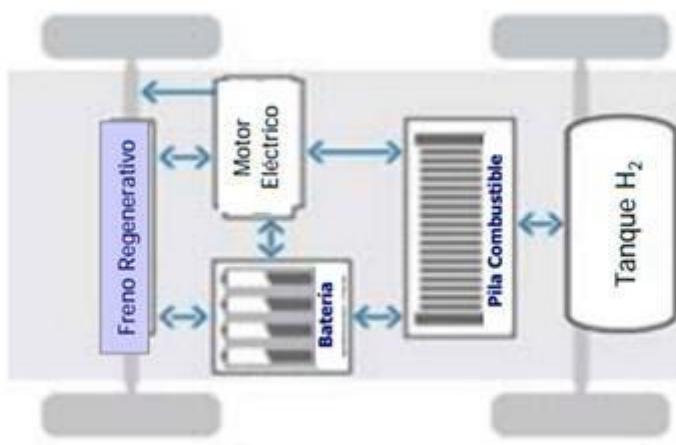


Ilustración 3. Funcionamiento coche eléctrico de pila de combustible

Como vemos, los coches de hidrógeno cuentan con una mecánica con un notable elenco de actores: por un lado el propulsor, por otro la pila de combustible, por otro las baterías y, finalmente, el tanque de hidrógeno.

Podríamos entender también al coche eléctrico de pila de combustible de hidrógeno como un coche eléctrico de autonomía extendida, en el que el sistema de extensión de autonomía, más allá de lo que acumula una batería, es una pila de combustible que genera electricidad durante el funcionamiento del coche, y completa a la acumulada en la batería para tener más autonomía.

3.3.4.2 Repostaje de un coche de hidrógeno

La principal ventaja que señalan los fabricantes en los vehículos de pila de combustible en comparación con los eléctricos es el tiempo para una recarga completa. Las marcas aseguran que está normalmente cercana a los cinco minutos.

Recargar el tanque de hidrógeno es una tarea prácticamente idéntica al repostaje con combustibles tradicionales: se hace a través de una manguera, que queda sellada al depósito mientras dura el repostaje del tanque.

La autonomía de este tipo de vehículos es muy similar a la de vehículos de combustión. La primera generación de pila de combustible de Hyundai llegaba casi a los 430 km, mientras que esta segunda generación, con el Nexo está en torno a los 600 km.

3.3.4.3 Ventajas del coche eléctrico de pila de combustible de hidrógeno

- En general la autonomía es mayor

La autonomía homologada de un coche eléctrico de pila de combustible de hidrógeno se sitúa entre los 500 y los 650 km, algo inferior a la de un coche de gasolina convencional. La particularidad de la autonomía de los coches de pila de combustible de hidrógeno es que su autonomía depende de la cantidad de hidrógeno que se haya podido introducir en los tanques, y esto depende de la presión a la que se puede comprimir.

La autonomía máxima se obtiene con hidrógeno acumulado a 700 bares de presión, unas 690 veces la presión atmosférica. Si el hidrógeno se introduce a menos presión, a 350 bares, la autonomía viene a reducirse a la mitad, y nos quedamos con unos 250 a 325 km. No todas las estaciones de repostaje de hidrógeno pueden comprimirlo a 700 bares, así que hay que tenerlo en consideración.

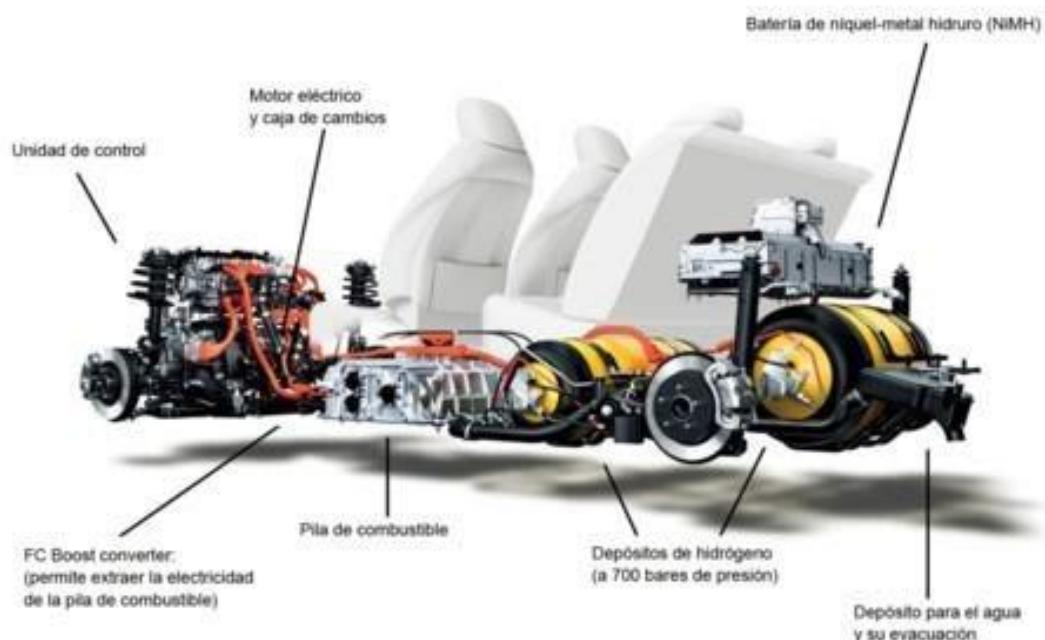


Ilustración 4 Coche eléctrico de pila de combustible de hidrógeno. Fuente Xataka.com

Principales componentes del sistema de propulsión:

- Se puede repostar en menos de 5 minutos

Además de la autonomía, sin duda la gran ventaja de los coches de hidrógeno es que se pueden repostar muy rápido, entre 3 y 5 minutos, sin implicar una demanda de potencia eléctrica instalada muy alta, como sucedería en los casos de los supercargadores, y sin que ello suponga un desgaste mayor, en cuanto a la vida útil de la batería.

- Las temperaturas extremas no afectan tanto a la autonomía

En los vehículos de pila de combustible de hidrógeno, a diferencia de los coches 100 % eléctricos, las temperaturas, por muy extremas que sean, apenas se notan cambios en las prestaciones del coche, así como tampoco en cuanto a su autonomía.

3.3.4.4 Desventajas del coche eléctrico de pila de combustible de hidrógeno

- Precio de compra más alto

Vimos antes cuál era el precio de un coche eléctrico medio. Actualmente, un coche eléctrico de pila de combustible de hidrógeno es muy costoso, bastante más caro que un coche eléctrico, aunque los fabricantes se esfuerzan en aquilatar su precio, prometiendo que en el futuro serán más asequibles.

La pila de combustible, sobre todo, con metales raros y preciosos, y los tanques de hidrógeno que soporten una presión muy alta, son los principales culpables de su alto coste de fabricación.

- Menor eficiencia

El consumo medio de un coche como el Hyundai ix35 FCEV es de 31,3 kWh/100 km. Pero teniendo en cuenta que hay que producir ese hidrógeno, comprimirlo y transportarlo hasta una estación de repostaje, la energía total consumida a nivel global es mayor, resultando del orden de 55 a 60 kWh a los 100 km en un caso favorable, pero incluso más en casos más desfavorables, según generemos el hidrógeno.

- Mayores emisiones globales

Al requerir más energía, tanto a nivel local como a nivel global, para realizar 100 km, se generan también más emisiones (es directamente proporcional al factor de emisiones de la fuente de energía eléctrica que se haya considerado).

En la producción de hidrógeno, al igual que ocurre con la energía eléctrica, sí genera emisiones. Y atendiendo al consumo, al ser mayor en los modelos de pila de combustible, esto se traduce en mayores emisiones a la atmósfera.

Debemos entender que el hidrógeno no es una fuente de energía, sino un vector energético, es decir, para tener hidrógeno con el que repostar un coche de pila de combustible hay que producirlo, y en ese proceso se consume más energía que la que luego contiene y nos devolverá el hidrógeno obtenido, puesto que en el proceso hay pérdidas.

Si se considera que en la actualidad alrededor del 95 % del hidrógeno se produce en plantas hidrogeneras a partir de combustibles fósiles, gas natural principalmente, no se puede considerar que el hidrógeno sea renovable, ni siquiera tampoco que el vehículo sea de cero emisiones locales.

- Coste por km mayor

Realizar 100 km con un coche eléctrico de pila de combustible de hidrógeno es considerablemente más caro que con un coche eléctrico, y en según qué casos incluso algo más caro que con un coche de gasolina o gasóleo: viene a costar entre 8 y 10 euros los 100 km.

Producir hidrógeno actualmente no es barato porque se ha de pagar el coste de la materia prima y de la energía consumida. Si se produce por electrólisis del agua, para que sea renovable, resulta incluso el doble de caro que por reformado de gas natural. Es por esto que se están investigando y desarrollando nuevos métodos de producción de hidrógeno, más económicos, o renovables, o ambas cosas a la vez.

- Coches con menor potencia

El Toyota Mirai tiene una potencia de 154 CV, el Hyundai ix35 FCEV tiene 136 CV, y el nuevo Honda FCX Clarity tiene 140 CV. La limitación la impone la pila de combustible de hidrógeno, pues cuanto más potente, más grande y cara resulta. También el que la batería de propulsión sea pequeña y no tenga mucho búfer o reserva de potencia limita la potencia máxima.

Una opción, si no se quiere optar por una pila mayor, es optar por una batería mayor que permitiera satisfacer las demandas instantáneas de potencia pico puntuales, pero entonces estaríamos ocupando todavía más espacio en el coche, añadiendo más peso y aumentando aún más el coste, por eso los fabricantes actuales siguen todos básicamente la misma línea y concepto de coche eléctrico de pila de combustible de hidrógeno.

- Dificultad para fabricar coches pequeños

Debido a la complejidad técnica de un coche eléctrico de pila de combustible, a todos los componentes que tiene que incluir el vehículo (motor, unidad de control y conversor, transmisión, batería, pila de combustible y tanques de hidrógeno), y en particular al volumen que ocupan los tanques de hidrógeno, por el momento los coches que lanzan los fabricantes suelen ser bastante grandes.

El Honda Clarity Fuel Cell mide 4,92 m de largo, el Toyota Mirai mide 4,89 m, y un modelo no tan grande como el Hyundai ix35 FCEV mide 4,41 m. Por ahora no hay modelos más pequeños, como compactos o utilitarios, siendo por tanto más reducida la oferta.

- El maletero suele ser más pequeño

Aunque pueda ser una contradicción, y aunque en general estos coches sean grandes como acabamos de explicar, debido precisamente al mismo motivo, el espacio que ocupan todos los componentes, y en especial los tanques de hidrógeno, el maletero de estos coches suele ser menor que el de coches eléctricos similares.

- Infraestructura compleja, escasa y costosa

Para que la infraestructura sea útil de verdad es necesario, además, que la estación de repostaje permita repostar a 700 bares, para disfrutar de más autonomía, y que el hidrógeno sea de gran pureza.

La inversión necesaria para instalar una hidrogenera es bastante alta, aunque esto es relativo, y depende de cómo se pueda rentabilizar con el uso. En teoría, en condiciones normales una estación de repostaje vendría a costar entre 500.000 y 1 millón de euros; ello será determinante a la hora de realizar un estudio de viabilidad de este tipo de energía para el proyecto. Una estación de recarga rápida multiformato para coches eléctricos viene a costar unos 50.000 euros. Con este tipo de costes, parece complicado llevar a cabo una instalación de una hidrogenera, a no ser que se cuente con algún tipo de subvención o ayuda estatal, siempre teniendo en cuenta el objetivo de aminorar la emisión de gases contaminantes.

- El hidrógeno es muy volátil e inflamable

Aunque los fabricantes diseñan y construyen los tanques de acumulación de hidrógeno para que sean fiables y resistentes, además de disponer de diferentes sistemas de seguridad para detectar fugas, para ciertos conductores, ello puede suponer un hándicap a la hora de comprar un coche de pila de combustible de hidrógeno.

- La vida útil de los tanques de hidrógeno y de la pila limita la del coche

La vida útil de los tanques de hidrógeno, al menos por una cuestión normativa y de seguridad, está limitada a 15 años. No olvidemos que 700 bares de presión es mucha presión. La vida útil de la pila de combustible se ha ido mejorando poco a poco, y ya no es tan limitada como antes, pero sigue siéndolo. Por ejemplo, en marcas como Hyundai, la pila de combustible se estima que ve reducida su potencia un 15 % a partir de los 225.000 km.

3.4 Comparativa coche de combustión interna, eléctrico, híbridos o de hidrógeno

Gastos medios totales de un vehículo				
Vehículos segmento C	Costes financieros e impuestos	Costes de combustible	Mantenimiento y seguro	TOTAL
Pila de combustible de hidrógeno	57.571	8.085	8.937	74.593
Híbrido ni enchufable de gasolina	33.176	14.278	10.661	58.115
Gasolina	29.811	15.851	10.661	56.323
Híbrido enchufable de gasolina	33.883	5.341	9.627	54.851
Híbrido no enchufable de gasóleo	33.731	10.266	9.999	53.996
Híbrido enchufable de gasóleo	39.890	4.144	9.333	53.367
Diesel	31583	11.139	9.999	52.721
Eléctrico	39.958	1.928	8.937	50.823
GLP (gas licuado del petróleo)	30.459	10.306	10.661	50.392
Gas Natural	30.716	6.288	10.661	47.665

Tabla 7 Tabla comparativa elaborada por la organización de consumidores OCU. Toda la vida útil de los vehículos.300.000

Teniendo en cuenta el precio de venta al público, es decir, contabilizando los costes financieros e impuestos, se observa una gran diferencia entre los vehículos de pila de combustible de hidrógeno (57.600 €) y el resto (30.000 - 39.000€).

Por otra parte, cabe destacar que el coche eléctrico, el cual queremos implantar, en este capítulo es más caro que cualquier híbrido enchufable / no enchufable de gasolina o gasóleo, GLP o Gas natural; dicha diferencia se ve compensada, a la postre, si tenemos en cuenta los costes de combustible y gastos de mantenimiento y seguro.

Si me ciño a un análisis más concreto y exclusivo del coche eléctrico, podemos confirmar que a pesar de que el precio de coste inicial es más caro (40.000€) dentro de la flota actual de vehículos del aeropuerto, que los de gasolina (30.000€) y gasóleo (31500€), el gasto total se aquilata, es más, se reduce en 2000€ con respecto al diesel y en 6000€ con respecto a la gasolina, ello es debido a la diferencia en los costes de combustible.

Por otra parte, y en este mismo sentido, si tenemos en cuenta que dicho combustible se genera de forma autónoma a la red eléctrica nacional, es decir, no se depende de las fluctuaciones del precio de la energía eléctrica, dichos costes pueden verse reducidos todavía más, y en consecuencia, las diferencias en cuanto a los gastos total se incrementarían, en favor del VE.

Al objeto de minimizar uno de los inconvenientes de la electrificación de la flota, a saber: los largos períodos de recarga de las baterías, se ha programado un equipo de baterías de reserva, cargadas en las horas pico de energía, cuyo objetivo será mantener los vehículos a disposición en cualquier momento evitando así cualquier incidencia de la instalación que pueda poner en peligro la operatividad de estos

Ello sería una razón de peso que incentivaría la sustitución de los vehículos de combustión fósil por estos.

Por todo ello, podemos concluir que la apuesta por el VE, a medio y largo plazo, es más rentable y por tanto viable; máxime si tenemos en cuenta la gran diferencia que existe en cuanto al nivel de emisión de gases contaminantes, es decir, no solo es más rentable, económicamente hablando sino que además presenta la ventaja de ser un transporte limpio, respetuoso con el medio ambiente.

3.5 Transición al vehículo eléctrico

La aviación civil es la primera industria con un ancho unificado de aplicaciones de propulsión de vehículos eléctricos en China; trató de promover el desarrollo de la reducción de emisiones de CO₂, a la vez que un ahorro del consumo de energía y por ello obtener la distinción como aeropuerto verde o sostenible en los últimos años; para ello se han puesto como objetivo la transición y el aumento paulatino de vehículos eléctricos dentro del aeropuerto.

El proyecto de transformación llamado "Oil to electricity" consiste en la sustitución de los vehículos propulsados por energías fósiles tradicionales a vehículos impulsados por energía eléctrica u otras energías limpias al objeto de alcanzar un "desarrollo verde" que garantice una mayor calidad del aire en los aeropuertos y su entorno.¹⁴

¹⁴ Atlantis Press, 'Proceedings of the 2018 7th International Conference on Energy, Environment and Sustainable Development (ICEESD 2018)' <<https://www.atlantis-press.com/proceedings/iceesd-18/25894918>>.

Para conseguir tal objetivo es preciso poner en práctica las siguientes medidas:

1. Aplicar la planificación general y normas unificadas.
2. Introducir y actualizar los vehículos eléctricos,
3. Establecer y mejorar la monitorización de dichos vehículos, así como la plataforma de la operación de carga,
4. Hacer pleno uso de la política vehículo eléctrico
5. Fortalecer la industria utilizando el comercio de carbono para promover aún más la aplicación de vehículos eléctricos.

El "Oil to electricity" en la aviación civil es prometedor

Los vehículos de energía limpia reducirán el consumo de energías fósiles, como el petróleo, mejorando la eficiencia energética y la calidad del aire, convirtiéndose en el gran objetivo de la introducción del coche eléctrico en China. Debido a que la zona de movimiento está perfectamente delimitada así como su gestión, este tipo de vehículos tienen la ventaja de superar la debilidad de su resistencia limitada así como adaptarse mejor a las instalaciones de carga del vehículo eléctrico puro; además, las condiciones de sus habituales cometidos de estos vehículos dentro el aeropuerto se adecuan a las características de baja velocidad o estado estático.

La implementación de "Oil to electricity" en la aviación civil, está a favor de reducir el costo del consumo de energía, así como mejorar la calidad del aire. Según estadísticas estimativas, en el caso de lograr la electrificación de los 16000 terrestres especiales y equipos de la industria aeronáutica supondría un ahorro estimado de 130 mil toneladas de petróleo al año, que se podrían dedicar a otras actividades, contribuyendo así a mejorar sustancialmente la calidad del aire.

El "Oil to electricity" en la aviación civil nacional

La administración de Aviación Civil de China puso "Oil to electricity" como la tarea fundamental de ahorro de energía y reducción de emisiones. El proyecto "Oil to electricity" ha puesto en marcha en 2014, y la experiencia piloto se llevó a cabo en 2017, ampliándose a más aeropuertos en el futuro.

Seis aeropuertos, como Beijing, Chengdu, Kunming, Changsha, Harbin, Xiamen, fueron por su gran rendimiento, en cuanto a movilización de millones de personas y carga, los elegidos para realizar la primera prueba piloto en 2015. Los fondos destinados a la conservación de energía y reducción de emisiones han supuesto un total de 100 millones ¥, más de 160 empleados en instalaciones de carga construidas y 412 vehículos eléctricos especiales hasta junio de 2017.

Entre ellos, el aeropuerto de Chengdu es comparativamente un líder, tiene más de 160 unidades que cubren casi todos los tipos de vehículos especiales de tierra y 68 puntos de carga; lo cual supuso una reducción, en cuanto a la emisión de CO₂, de casi 2000 toneladas y de un ahorro de consumo de energía entorno a 3,5 millones ¥ cada año.

Mientras tanto, como aeropuerto verde se propuso Beijing, fijándose el objetivo de llegar a unas cuotas de vehículos de energía limpia entorno al 20% en vehículos especiales y 100% en los vehículos ligeros en la zona de vuelo, mientras que en el aeropuerto de Hong Kong ha construido 96 puntos de carga en la zona de vuelo, lo cual ha supuesto cubrir el objetivo de electrificar aproximadamente un 30%.

El "Oil to electricity" en la aviación civil extranjera

En los aeropuertos de Estados Unidos, la Unión Europea ha llevado a cabo el proyecto "Oil to electricity":

En el aeropuerto de Seattle se invirtieron 30 millones \$ en la construcción de 600 instalaciones de carga rápida inteligente para diferentes tipos de vehículos, de ahí que la proporción de equipo eléctrico haya alcanzado el 43% en 2015.

Los vehículos de energía limpia del Aeropuerto de Estocolmo representan más del 50% en la zona de vuelo, mientras que el equipo de apoyo de vuelo representa más del 30% de la electrificación del aeropuerto.

Frankfurt aumentó los vehículos de energía limpia a más del 60% en 2020.

Este proyecto ha demostrado fehacientemente que el proyecto "Oil to electricity" no sólo es técnicamente factible, sino que también tiene grandes beneficios económicos, sociales y medioambientales.

Los problemas de "Oil to electricity" en la aviación civil

La potencia petrolera de la aviación civil es un sistema de ingeniería, que incluye la compra de vehículos especiales, auxiliares producto de instalaciones de carga de energía y construcción de la red eléctrica, que exige una garantía conjunta de empresas de repuestos, empresas automotrices, instalaciones de carga, gestión de operaciones, monitoreo plataforma etc. Aunque el proyecto piloto "Oil to electricity" ha acumulado un cierta experiencia, aún está lejos de ser una realidad contrastada. Concretamente, el rendimiento de la batería, motor tecnología y tecnología de control electrónico y la tecnología de carga de la batería son susceptibles cabe resaltar la falta de vehículos eléctricos especiales, así como la necesidad de construir puntos de carga, ampliar la red eléctrica y mejorar el mantenimiento de este tipo de vehículos; la licencia y su gestión aún se encuentra en una etapa exploratoria; así como la elaboración de una plataforma de monitorización.

Los vehículos especiales de tierra son varios, a saber: tractor de aeronaves, equipaje transportador, escaleras de embarque de pasajeros, camiones de la plataforma, vehículos de catering de aviación, camiones quitanieves, vehículos de deshielo, camión de agua limpia, vehículos de eliminación de aguas residuales, camiones de basura, la ground power unit, vehículo de gas, camiones fuente de aire, coches patrulla, vehículos de conducción de aves, coches medidores de los coeficientes de fricción, barredora de succión, coche de mando, vehículos de iluminación, etc. Dichos vehículos especiales no son susceptibles, hoy por hoy de ser impulsados con energía eléctrica, ya que esta no genera la potencia requerida para ello. Mientras que de acuerdo con los tipos de vehículos eléctricos actualmente en el mercado, los que pueden ser electrificables son: el tractor de aviones, jardineras, vehículo de guiado, transportador y remolque de equipaje, carretilla elevadora, autobuses para empleados, escaleras de embarque de pasajeros y vehículos de plataforma.

Los vehículos de gran tonelaje no son susceptibles de ser adaptados a CEVS.

Perspectivas y propuestas de "Oil to electricity" en la aviación civil

La realización de "Oil to electricity" es necesario y significativo en la implementación de la aviación civil verde y de la concienciación ecológica.

La Administración de Aviación Civil de China solicitó a los aeropuertos un rendimiento anual de pasajeros de 5 millones para implementar el proyecto "Oil to electricity".

Después de la prueba piloto, la demanda de dicho proyecto es enorme. Si la esperanza de vida promedio de los vehículos especiales del aeropuerto son 15 años, habrá 11 mil vehículos que necesitarán reemplazo en los próximos 10 años, sin considerar los nuevos vehículos comprados anualmente.

Aunque el "Oil to electricity" ha sido concebida enérgicamente, todavía hay muchos problemas que necesitan solucionarse. Para la transformación y aplicación del proyecto "Oil to electricity", es preciso eliminar el vehículo tradicional y reconvertirlo gradualmente de acuerdo con la citada esperanza de vida.

Toda esta información sobre el "Oil to electricity", desarrollada en los aeropuerto Chinos, me sirve como referencia a la hora de poner en práctica el proyecto, no sólo en lo referente a la construcción de infraestructuras, sino que también a la adquisición y mantenimiento de los diferentes vehículos de que consta la flota que opera dentro de la instalación aeroportuaria, es decir, los vehículos especiales y los ligeros.

3.6 Mejora de la Eficiencia Energética

Como se mostrará a continuación, los vehículos eléctricos son más eficientes que los convencionales propulsados por motores de combustión interna. Así lo indican los numeroso estudios e informes técnicos que comparan el rendimiento de ambas tecnologías.

Analizando los rendimientos 'Desde el tanque a la rueda' (Tank to Wheel), el rendimiento del VE (en este caso, sería desde las baterías a las ruedas) es notablemente superior al convencional (desde el depósito de combustible a las ruedas).

En concreto, y enfocando la comparativa al ámbito habitual de funcionamiento de las flotas urbanas/ metropolitanas, el rendimiento de los VE es del orden del 83% mientras que en los motores diesel modernos de mejor tecnología disponible (EuroV, con stop-start, frenado regenerativo y otras mejoras de eficiencia), su eficiencia se sitúa alrededor del 33%. ¹⁵

Pero para realizar una justa comparativa de ambas tecnologías, resulta necesario observar el proceso en su conjunto 'Desde el pozo a la rueda' (Well to Wheel) para obtener datos más realistas sobre la eficiencia energética de los dos tipos de movilidad. Así, según la fuente de energía y la tecnología utilizada para la generación de electricidad (centrales térmicas, nucleares, ciclo combinado, plantas de energías renovables...) la eficiencia energética y el balance de emisiones, aumentan o disminuyen.

Considerando el análisis desde el pozo a la rueda y para el caso del sistema de generación y distribución eléctrico español*, la eficiencia del vehículo eléctrico en uso metropolitano frente a un vehículo de combustión interna de gasóleo de la mejor tecnología disponible (MTD) es del orden de 8 puntos superior, con una mejora en su eficiencia energética del orden de un 30%.

*Nota: Se considera un rendimiento de generación eléctrica del 50% (año 2010), del 91,8% de eficiencia en el transporte y la distribución de electricidad y del 92% en la recarga de la batería, que dan lugar a un 42,2% de rendimiento en el WtT (Well to Tank) frente a un 84% del vehículo convencional, correspondientes al refinado y transporte del diesel, lo que da lugar a un balance Well to Wheel de 35% de eficiencia para el vehículo eléctrico frente a un 27% del vehículo diesel de nueva tecnología.

¹⁵ IDAE- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.

Ventajas asociadas al VE

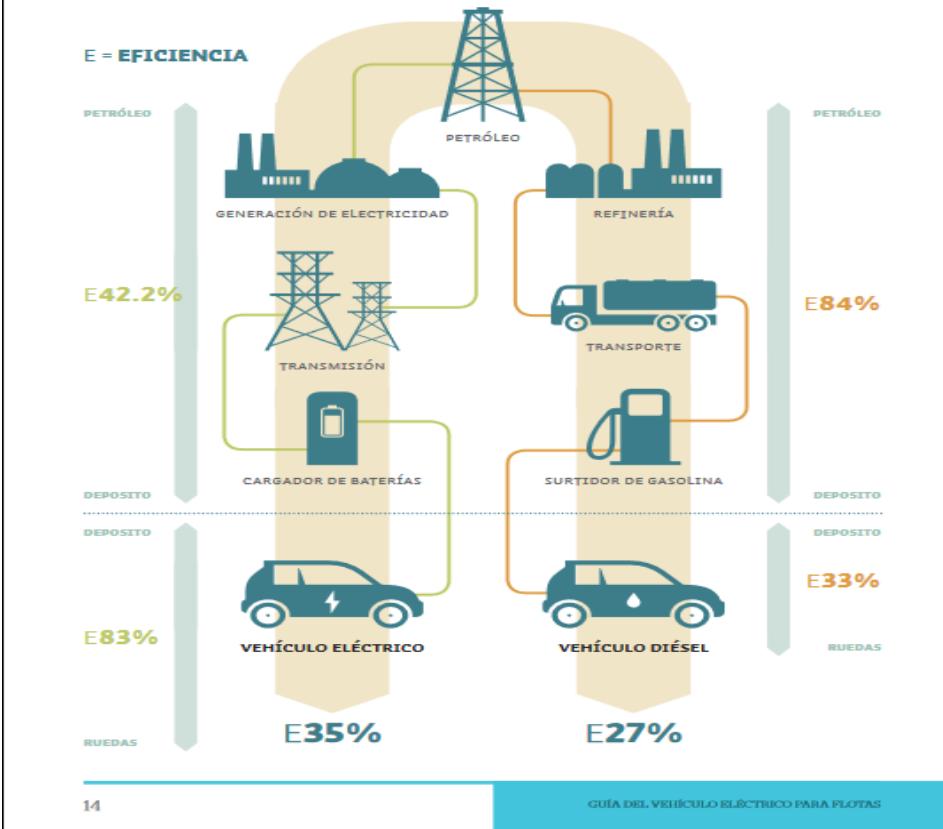


Tabla 8 Ventajas asociadas al VE. Eficiencia energética

4 Baterías

A la hora de dimensionar una instalación fotovoltaica desconectada de la red es esencial pensar en cada uno de los componentes, individualizándolos para comparar las opciones similares que nos ofrece el mercado. Las baterías son los elementos clave de todo el dispositivo de almacenamiento de las cargas eléctricas. Por tanto la correcta elección de estas es decisiva para un eficiente funcionamiento de este servicio. Por tal motivo, a continuación realizo un estudio pormenorizado de los distintos tipos de batería que nos ofrece el mercado.

4.1 Tipos de baterías¹⁶

Monoblock

Las baterías Monoblock son una solución económica y de alto rendimiento ideal para aplicaciones de energía renovable con una vida útil estimada de 4 a 5 años. Están recomendadas para instalaciones pequeñas o con un consumo bajo, como por

¹⁶ Marc Lillo Sarret, 'Trabajo de Fin de Grado: Diseño de Una Estación de Recarga Par Vehículos Electricosmóvil y Autosuficiente' <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/115326/TFG_MARC_LILLO_2017_DEE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

ejemplo: sistemas de alarma, sistemas de video vigilancia, bombillas, etc. Sin embargo, no es recomendable que en la instalación donde situemos nuestra batería Monoblock tengamos aparatos complejos –es decir que dispongan de motor –ya que éstas baterías no soportan bien los picos de arranque altos que producen este tipo de equipos (lavadora, bomba de agua, etc.) Si las utilizáramos para soportar este tipo de electrodomésticos o sistemas, se reduciría su vida útil drásticamente, con lo que es más rentable a largo plazo utilizar otro tipo de baterías que estén preparadas para este fin.

Baterías AGM

También poseen una vida útil de más de 10 años. Las baterías VRLA AGM poseen su contenido en ácido fijado en fibras de vidrio. Este tipo de batería también denominada “batería seca” ya que su contenido de ácido es reducido. Las baterías AGM se proveen de su propia agua, ya que realiza una recombinaión con el hidrógeno y el oxígeno generado durante el proceso de carga. Poseen un comportamiento aceptable en climas fríos y tienen la mayor eficiencia de todas las baterías de plomo, pudiendo alcanzar hasta un 95% de eficiencia. El inconveniente de este tipo de baterías es que son vulnerables a descargas profundas y que aunque su inversión es mayor se compensa con su buena calidad.

Baterías estacionarias

También conocidas como baterías de ciclo profundo. Tienen una vida de 4 a 5 años, se pueden utilizar incluso en vehículos de recreo y sistemas de alimentación ininterrumpida. La diferencia notable de este modelo es que posee placas más gruesas, permitiendo realizar descargas más de mayor intensidad.

Baterías de electrolito gelificado o Gel

La batería de Plomo (ácido y gel) es la más económica, pero es la que menos autonomía nos ofrece, tiene mayor peso y exige mayor mantenimiento. La batería de ácido requiere controlar el nivel de agua sólo cuando está cargada totalmente, hacer las cargas completas (6-7 horas) y no desenchufar el cable en cualquier momento. No es recomendable si el VE lo va a utilizar más de una persona, ya que será difícil controlar que tenga en cuenta estos cuidados que pueden ‘matar’ la batería en menos de 2 años. Por lo que para el proyecto no serían las más indicadas, ya que los diferentes vehículos de la flota son manipulados por diferentes operarios.

Poseen una baja corrosión y resisten bien las bajas temperaturas. La vida útil de estas baterías es de aproximadamente 7 años. Como inconvenientes, indicar que al poseer una resistencia interna más elevada (lo que reduce el flujo máximo de corriente) son más delicadas de cargar, también hay que destacar que su precio es superior al de las baterías líquidas.

Batería de Níquel-Cadmio

Las principales características de la batería de Níquel-Cadmio son su larga vida y bajo mantenimiento. No se ven afectadas por las sobrecargas excesivas, pero, por contra, el coste es muy elevado en comparación a las de plomo-ácido. Soportan procesos de congelación y descongelación sin afectar a su rendimiento. De igual manera, las altas temperaturas tienen menos incidencia que en las de plomo-ácido. No sufren tanto por las sobrecargas, e incluso pueden descargarse totalmente sin sufrir daños estructurales. No poseen riesgo de sulfatación y su capacidad para aceptar ciclos de carga es independiente de la temperatura.

Como principal inconveniente cabe destacar que presentan el denominado “efecto memoria”, mediante el cual, se reduce la capacidad de la batería a causa de cargas incompletas. Se produce cuando se carga una batería sin haber sido descargada del todo. Al memorizar el ciclado, la batería limita descargas que sean mayores produciéndose así una pérdida en la capacidad de la misma.

Sin embargo no es tan económica comparada con la de Litio, teniendo en cuenta las desventajas que tiene. Es la batería con mayor efecto memoria de las tres; es decir, que es absolutamente recomendable no poner a cargar el VE si no hemos agotado la batería. Además presenta una tasa de descarga muy elevada. Esto significa que si el VE va a estar un tiempo parado será perjudicial para la batería. Además el Cadmio es altamente contaminante, inconveniente a tener en cuenta ya que mi proyecto se basa fundamentalmente en tecnologías y métodos lo más ecológicos posibles.

Baterías de ion-litio

También conocidas como baterías Li-ion e Ion o Polímero, que a diferencia de todas las anteriores, emplea como electrolito una sal de litio que aporta los iones necesarios para la reacción entre el ánodo y el cátodo. Este tipo de baterías no necesitan estar completamente cargadas para su correcto funcionamiento, por ello se posicionan en el “top” de las baterías.

A diferencia de las baterías tradicionales, mantienen la entrega de potencia sin fluctuaciones hasta el mismo punto de descargarse en lugar de ir variando la potencia conforme va disminuyendo la energía de la misma. Las baterías de ión-litio son más caras que las de plomo ácido pero si se usan en aplicaciones exigentes, el alto coste inicial es compensado por una vida útil más elevada, además de su elevada eficiencia.

No necesitan ningún tipo de mantenimiento durante toda la vida útil de la batería. Si se dejan de utilizar, se descargan a un ritmo muy lento, lo que permite usarlas tras un largo periodo de inactividad sin necesidad de una recarga previa. Además de todas estas ventajas, este tipo de batería es la más respetuosa con el medio ambiente ya que no posee elementos tan dañinos como el ácido sulfúrico y el plomo que está presente en otros tipos de baterías.

Hoy en día estas baterías representan la mejor opción para los vehículos eléctricos. Y dado que este proyecto pretende dar servicio a este sector, es interesante plantear el uso de baterías de litio de segundo uso para el almacenamiento de energía de nuestra instalación. De este modo estaremos ayudando a generar una economía circular con un menor número de residuos.

Baterías Echion

Echion Technologies es una empresa especialista en baterías en fase de investigación y desarrollo de un batería que vendría a revolucionar el mundo de la carga de los coches eléctricos, están hechas de un material en polvo es el componente principal de una batería de iones de litio, por lo que en la actualidad no es una alternativa viable, ya que los propios descubridores mantienen en secreto el material del que se compone.

Este es un nuevo tipo de material que permite la carga completa en 6 minutos. Es posible utilizarlo en coches eléctricos y hace que sea tan rápido y sencillo como

repostar combustible de forma convencional. Además, este nuevo material tiene una ventaja muy importante, y es que no explota.¹⁷

Actualmente la compañía logra producir un kilo de secreto material, que sería necesario para fabricar una batería de un VE; no obstante están convencidos de poder llegar a producir 1000 toneladas lo cual posibilitaría la producción en masa de este tipo de baterías, en ese momento se estaría ante una revolución en el sector de la carga de baterías de este tipo de vehículos.

Baterías de Vanadio

Estas baterías a diferencia de las de ion-litio tienen una vida útil casi infinita, ya que los filtros de carga y descarga son ilimitados. ello es debido a que las celdas individuales, patentadas por la empresa española hidraRedox, permiten que cada una de ellas opere de manera independiente, monitorizada y controlada a distancia; así logran personalizar la demanda en función de las necesidades del cliente dotando de mayor seguridad a las instalaciones y alargando la vida útil de los equipos.

Este tipo de baterías están pensadas fundamentalmente para proveer almacenamiento de energía a parques de energías renovables, ya sean eólicas o voltaicas como es el caso de las pensadas para mi proyecto.

Tienen una gran ventaja con respecto a las de ion-litio, a saber: la flexibilidad a la hora de instalarse, ya que diferencian entre la sección del módulo de potencia y el de energía, las celdas individuales de la sección de potencia, patentadas por esta empresa, están conectadas a la red de manera que transforman la energía en electroquímica, para cargarla en las baterías, y posteriormente la vuelven a convertir en electricidad para volcarlas a la instalación eléctrica.

Desde el punto de vista económico, aunque el precio actual de ambas baterías es similar, la diferencia está en que mientras que la vida útil de las baterías de ion-litio es de 5 años, las de vanadio es de aproximadamente 30 años, lo cual representa un alto grado de eficiencia.

4.2 Garantías

La garantía de un VE sobre todo afecta a la batería. No obstante, la garantía cubre habitualmente la reparación o sustitución de baterías que presentan defectos por fabricación que no deberían de producirse. Pero su período no es indicativo de la vida de la misma, es decir, tiene una vida estimada superior al citado período, por lo que se hace necesario tener muy en cuenta la capacidad de servicio de nuestro proveedor.

Cuando se habla de garantía de determinados ciclos de carga o kilómetros en un VE, quiere decir, en estimación estadística, que el fabricante garantiza que el vehículo circulará, por cada carga completa, en torno a un 80% de la autonomía que ofrece. A saber, si la garantía de un vehículo es de 100.000 Km y tiene una autonomía de 150Km, está garantizando que hasta entonces podrá circular 120Km sin cargas parciales (este dato es un ejemplo, hay que consultar cada fabricante).¹⁸

¹⁷ Forocoches, 'Echion Technologies' <<https://forococheselectricos.com/2019/08/echion-technologies-asegura-que-las-baterias-de-los-coches-electricos-podran-cargarse-en-solo-6-minutos.html>>.

¹⁸ IDAE- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.

4.3 Tipos de recarga

Siempre se tiende a olvidar uno de las grandes potencias del VE: su uso como sistema de almacenamiento eléctrico. Se habla del VE como una batería con ruedas y no se dan cuenta de que en un futuro no muy lejano, donde las energías renovables sean protagonistas, disponer de almacenamiento eléctrico será un complemento perfecto para su despliegue masivo.

Uno de los grandes inconvenientes de la energía eléctrica es la imposibilidad de almacenarla a gran escala. La energía eléctrica que se está consumiendo en este mismo momento está siendo producida a la vez en otro lugar, llegando a nuestras casas a través de la red eléctrica.

Aquí es donde los VE pueden ayudar a solucionar uno de los grandes retos de la humanidad: disponer de almacenamiento eléctrico a gran escala y distribuido.

En un futuro donde las energías renovables estarán presentes, los VE podrían ser claves en el nuevo sistema eléctrico, ya que, al fin y al cabo, tener millones de coches eléctricos conectados a la red eléctrica es a su vez tener millones de baterías conectadas a ella. En este capítulo se explican las tecnologías que permiten usar el VE como medio de almacenamiento de energía eléctrica. Se describe la tecnología V2G, además de sus variantes V2H y V2B.¹⁹

- TECNOLOGÍA VEHICLE TO GRID (V2G)Vehicle-to-grid:

Describe un sistema en el cual el conductor de un vehículo eléctrico o híbrido puede vender la energía almacenada en sus baterías a la red eléctrica, cuando éste se conecta a la red en los momentos que no se utilice el vehículo para su misión principal: el transporte. Alternativamente, cuando se necesite recargar las baterías del vehículo, el flujo se invertirá y la electricidad fluirá de la red eléctrica hacia el vehículo.

Según diversos estudios, la mayor parte de los vehículos permanecen aparcados un 95% del tiempo. Si estos vehículos son eléctricos o híbridos, sus baterías podrían estar disponibles como sistema de almacenamiento distribuido, permitiendo el almacenamiento y posterior extracción de la energía, ayudando al sistema eléctrico general. Para ello, cada vehículo requiere tres elementos:

- Una conexión a la red eléctrica para permitir el flujo bidireccional de energía.
- Una conexión lógica para la comunicación bidireccional con el operador de red.
- Una serie de controles y sensores a bordo del vehículo.

La ilustración 5 muestra el esquema de un sistema V2G, donde las centrales ya sean renovables o convencionales, situadas a la izquierda de la figura, transportan la energía a través de la red hasta los consumidores. Estos consumidores pueden ser domésticos (parte superior derecha de la figura) o industriales (parte inferior derecha). En este esquema propuesto, el flujo de la electricidad es bidireccional, pudiendo ir desde la red a los usuarios y de los vehículos eléctricos a la red.

Para saber cuándo y cuánta cantidad de energía deben cargar/descargar los VE, es necesario que exista un canal de comunicaciones entre ellos y el operador del sistema (ISO). En este caso, la señal de control del ISO puede enviarse utilizando la red de telefonía móvil o mediante cualquier otro medio. En cualquier caso, el operador de red envía solicitudes de energía a un gran número de vehículos estacionados.

¹⁹ Wikipedia.

Las peticiones para almacenar/descargar la energía pueden ir directamente a cada vehículo (como el mostrado en la parte superior derecha de la Figura), o a toda una red de aparcamiento que controla, a su vez, varios vehículos estacionados (parte inferior derecha de la Figura).

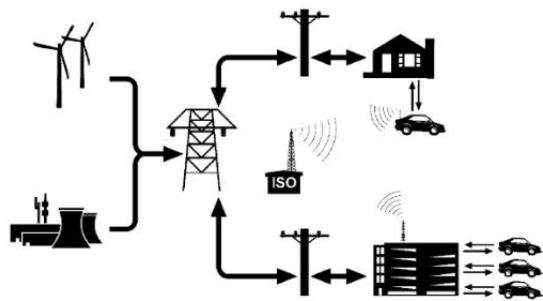


Ilustración 5 Línea de alimentación y conexiones de control inalámbrico entre los vehículos y la red eléctrica.

El vertido de energía desde el coche a la red tiene varios beneficios: permite una mejor integración de las energías renovables. Los excedentes de energías renovables (como puede ser el exceso de producción eólica durante los períodos nocturnos) pueden utilizarse para cargar los VE. Esta carga puede devolverse posteriormente a la red eléctrica en períodos de mayor demanda.

Objetivo económico: los usuarios pueden utilizar su VE para conseguir ahorros en su factura de la luz, cargando las baterías en horas valle para después consumir esa energía durante los períodos punta (o bien vendiendo el excedente de esa energía en horas punta).

Regulación de la red: en una futura red con millones de VE, la energía almacenada en sus baterías podrá utilizarse para ofrecer servicios de ajuste al sistema eléctrico, tales como la regulación de frecuencia.

La mayor limitación de esta tecnología Vehicle to Grid es la necesidad de coordinar el funcionamiento de miles de vehículos en tiempo real y por eso, apenas hay algunas primeras aplicaciones experimentales. En 2013, Kempton conectó 15 coches Mini-E para que funcionaran como una pequeña central eléctrica, este hecho supuso el nacimiento de la tecnología V2G.

Existen dos variantes más sencillas para su utilización a pequeña escala, denominadas Vehicle to Building (V2B) y Vehicle to Home (V2H). Se trata de la misma tecnología solo que en lugar de aplicada a nivel de red, se aplica a nivel de vivienda o edificio respectivamente. Esta última no es objeto de nuestro estudio.

- **TECNOLOGÍA VEHICLE TO BUILDING (V2B)**

Gracias a esta tecnología, una flota de vehículos eléctricos conectada a un mismo edificio (habitualmente del sector terciario: oficinas, hospitales, universidades, hoteles, aeropuertos,... etc.) puede servir como sistema de almacenamiento y sistema de alimentación de emergencia. Los objetivos pueden ser variados:

- 1.-Reducir la factura de la luz, gracias a la recarga nocturna y el vertido en horas punta.
- 2.-Aprovechamiento de energías renovables, cargando los vehículos con la instalación renovable (ya sea fotovoltaica o minieólica) presente en el edificio. Back-up.
- 3.-En el caso de haber un corte de electricidad, la flota de vehículos podría seguir alimentando el edificio, en lugar de los grupos electrógenos convencionales.

4.4 Tipos de recarga:

Actualmente se pueden distinguir los siguientes tipos de recarga dependiendo del tiempo de este:²⁰

·Recarga convencional: esta recarga aplica niveles de potencia que hacen que la carga dura aproximadamente unas 8h. La carga convencional monofásica emplea intensidad y voltaje propios de una vivienda (16 A y 230 V), es decir, unos 3,7 kW. Esta es la solución óptima para básicamente recargar el VE en la vivienda durante la noche, ya que es cuando menos demanda hay. Mediante dicho sistema, se podrá realizar la carga de las baterías supletorias manteniéndolas en standby mientras no sean necesarias, haciendo así más fácil y rápida la carga de estos VE.

·Recarga semi-rápida: emplea 32 A y 230 VAC, que serían aproximadamente unos 7,3 kW. Con este nivel de carga el coche podría cargarse en unas 4h. Dicho método, es el más óptimo para mi proyecto, ya que así se podrán recargar los vehículos que no estén operativos dentro de los turnos rotativos de los operarios, siempre de acuerdo con un plan previamente programado.

·Recarga rápida: la potencia de salida que se obtiene es de unos 50 kW, pudiendo cargar así el 65% de la capacidad en aproximadamente 15 minutos. Esta solución es la que se asemeja más a los hábitos de repostaje actuales.

·Recarga ultra-rápida, apenas se usa, y debe considerarse algo todavía experimental, en vehículos eléctricos a prueba con acumuladores de tipo supercondensadores (por ejemplo algunos autobuses eléctricos). La potencia de recarga es muy elevada, y en unos cinco o diez minutos se pueden recargar las baterías. Las baterías de iones de litio no soportan la temperatura tan elevada que provoca este tipo de recarga pues deteriora gravemente su vida útil.

4.5 Modos de carga o nivel de comunicación

Los modos de carga tienen que ver con el nivel de comunicación entre el vehículo eléctrico y la infraestructura de recarga (y por consiguiente la red eléctrica), y el control que se puede tener del proceso de carga, para programarla, ver el estado, pararla, reanudarla, o incluso volcar electricidad a la red.

·Modo 1, sin comunicación con la red. Sería el que se aplica a una toma de corriente convencional con conector schuko.

·Modo 2, grado bajo de comunicación con la red. El cable cuenta con un dispositivo intermedio de control piloto que sirve para verificar la correcta conexión del vehículo a la red de recarga. Podría seguir usándose un conector schuko.

·Modo 3, grado elevado de comunicación con la red. Los dispositivos de control y protecciones se encuentran dentro del propio punto de recarga, y el cable incluye hilo piloto de comunicación integrado (por ejemplo los conectores SAE J1772, Mennekes, Combinado o Scame).

·Modo 4, grado elevado de comunicación con la red. Hay un conversor a corriente continua y solo se aplica a recarga rápida (por ejemplo conector CHAdeMO).²¹

²⁰ Lugenergy, 'Modos de Recarga de Vehículos Eléctricos (Tipos de Carga Eléctrica)'<<https://www.lugenergy.com/modos-de-recarga-vehiculos-electricos/>>.

²¹ González Martín.

5 Tipos de conectores

En el mercado actual existen distintos tipos de conectores destinados a los coches eléctricos. Esta situación puede confundir a los usuarios, por lo que en el presente trabajo intentaré aclarar las diferencias de las siguientes conexiones.

5.1 El Conector Schuko

El conector Schuko es un estándar europeo para la conexión de aparatos eléctricos en baja tensión con corrientes monofásicas. Son los enchufes habituales que encontramos en los hogares, constan de dos polos principales (la fase y el neutro) y un contacto adicional para la toma de tierra.

Están diseñados para soportar corrientes de hasta 16A durante periodos cortos de tiempo, por lo que si utilizamos cargadores portátiles o cables de recarga con este conector, no podremos pasar de 10A, 12A y 13A como mucho, si no queremos tener problemas de sobrecalentamiento.



Ilustración 6. Conector schuko

Este tipo de conector no es el más apropiado para ser utilizado en las recargas de los vehículos del aeropuerto.

5.2 Conector Tipo 1 (SAE J1772)

Este tipo es el más utilizado en los mercados asiáticos y americanos. Originario de Japón (donde también se le denomina Yazaki), dispone de los mismos contactos que una clavija schuko, típicos de un conector monofásico de baja tensión: fase, neutro y tierra. Adicionalmente, dispone de dos contactos destinados para la comunicación entre el cargador externo y el vehículo. Además dispone de un dispositivo de bloqueo que impide la desconexión del conector durante la recarga.

La máxima intensidad a la que puede operar es de 32 A en baja tensión monofásica, lo que permite una potencia máxima de recarga de 7,4 kW.



Ilustración 7. Conector Tipo 1 (SAEJ1772)

5.3 Conector tipo 2 (IEC 62196-2)

Actualmente, es un conector homologado como standard Europeo. Se conoce también como conector Mennekes, que es el nombre del primer fabricante; permite realizar cargas monofásicas desde 16 A hasta cargas trifásicas 400V y 63 A, lo que significa poder trabajar con recargas de corriente alterna en potencias desde 3,7 kW hasta 44 kW.

Dispone de 7 contactos, dos más que los disponibles en el conector Tipo 1, y corresponden a 3 contactos de fase (para cargas trifásicas), un neutro, una toma de tierra, y los dos contactos para establecer comunicaciones entre cargador y vehículo.



Ilustración 8. Conector tipo 2 (IEC 62196-2)

5.4 Conector tipo 3

Este conector apareció en 2010, una época aún de indefinición de estándares de conectividad para la recarga de vehículos eléctricos, por la asociación EV Plug Alliance. Actualmente está en desuso, ya que en Europa se han impuesto los conectores estándar homologados como tipo 2 o Mennekes.

Dispone de dos variantes, la 3A y la 3C. La variante 3A está preparada para soportar cargas monofásicas a 16A, y dispone de 4 contactos: fase, neutro, tierra y comunicaciones. La variante 3C permite cargas monofásicas o trifásicas a 32A, y dispone de 7 contactos, al igual que el conector Mennekes: 3 fases, neutro, tierra, control y presencia. La potencia máxima a la que se puede recargar con este conector es de 22 kW.



Ilustración 9. Conector tipo 3

5.5 Conector CHAdeMO

Este conector fue desarrollado por una asociación de empresas japonesas entre las que encontramos a TEPCO (Tokyo Electric Power Company), Mitsubishi, Nissan, Toyota y Subaru. Fue concebido para realizar recargas rápidas en corriente continua, diseñado para soportar hasta 50kW de potencia y una intensidad de 125A de corriente continua. La mayoría de vehículos eléctricos japoneses disponen de este conector para posibilitar las recargas rápidas.



Ilustración 10. Conector CHAdeMO

5.6 Conector Combo 2 (IEC-62196-3)

En Europa se ha optado por un conector distinto para recargar en corriente continua. Se trata de un ingenioso conector combinado que está compuesto por un conector de corriente alterna Tipo 2 (Mennekes) y uno de corriente continua con dos contactos. El conector Combo 2 permite cargar el vehículo en modos 2, 3 y 4 a través de una sola toma, lo cual es la clave del éxito de este conector. La potencia máxima a la que puede trabajar en corriente alterna es de 44kW (63A en trifásica 400V) y de hasta 100kW en corriente continua, aunque actualmente sólo se realizan cargas en corriente continua de 50kW.

Por sus características, presenta grandes ventajas tanto desde el punto de vista de potencia como de rapidez de carga, por lo que es el más aconsejable para ser usado por los vehículos de la instalación.²²



Ilustración 11. Conector Combo 2 (IEC-62196-3)

²² González Martín.

6 Puntos de carga

6.1 Infraestructura de recarga

Algunas de las compañías energéticas de España y empresas dedicadas al VE se encuentran ya ofreciendo servicios y asesoramiento en cuanto gestión e instalación de infraestructura de recarga.

Es importante para un gestor de flota conocer la infraestructura de recarga a disponer y susceptible de ser utilizada por su flota, ya sea propia o ajena, en instalaciones privadas o públicas y con intención de facturar o no al usuario final. Si es para flota propia, en instalación privada y no se va a facturar la energía consumida, la complejidad de la gestión se reduce.

No obstante, conviene optimizar siempre las recargas realizadas en tiempo y procedimiento y de acuerdo a la capacidad disponible para tal efecto en la instalación.

En cualquier caso, si se requiere apoyo o asesoramiento adicional para optimizar la gestión de esta operación, se podrá contar para ello con la opción de la contratación de una empresa que preste sus servicios como gestor de cargas y se encuentre por tanto registrada como tal.

En este sentido, en una flota con distintos vehículos eléctricos conviene disponer de un sistema centralizado para la gestión de su recarga, donde se pueda realizar un adecuado control y seguimiento de las cargas realizadas, tiempos de carga, horas a las que se realizan, usuarios, energía consumida, restricciones de horario, capacidad de la instalación eléctrica y grado de utilización de la misma, etc.

7 Generación de energías

Antes de proceder al diseño de la instalación, es preciso elegir la fuente de energía más aconsejable para abastecer los puntos de carga, para ello se hace necesario realizar un previo análisis de las principales fuentes de energía renovables.

7.1 Energías renovables

7.1.1 Sistemas de generación eólico

La energía eólica se obtiene del aprovechamiento de la fuerza motriz del viento que, mediante un aerogenerador se transforma en energía eléctrica; es decir, la fuerza del viento mueve las hélices del aerogenerador que, mediante un rotor conectado a un generador produce energía eléctrica.

Con un aumento en la potencia de 38 MW en 2016, la energía eólica ha sido la segunda fuente de generación eléctrica en España en ese año. España es el quinto país del mundo por potencia eólica instalada, tras China, Estados Unidos, Alemania e India.

La potencia instalada a 31 de diciembre de 2016 era de 23.026 MW, con una producción de 47.319 GWh y una cobertura de la demanda eléctrica del 19,3%.

Por otra parte, las dimensiones de una instalación eólica convencional son demasiado grandes, por lo que no es la fuente de energía más aconsejable para este proyecto.

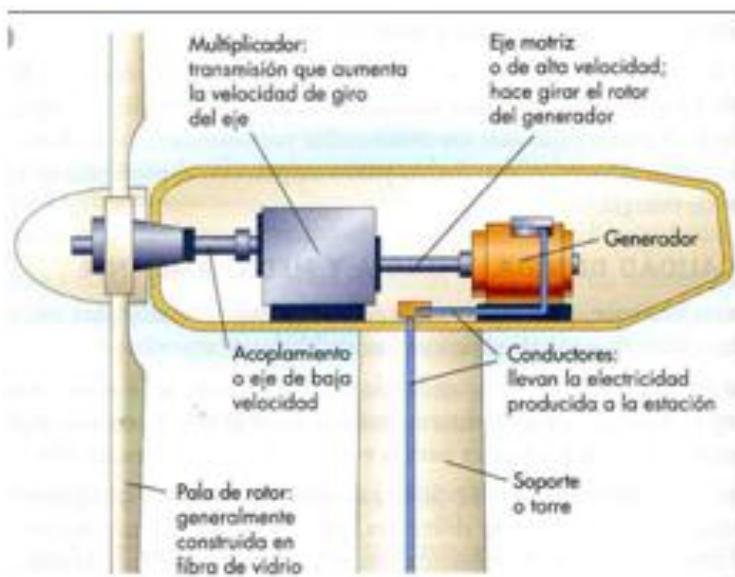


Ilustración 12. Funcionamiento generación de energía eólica

Energía minieólica

La energía minieólica es el aprovechamiento de los recursos eólicos mediante la utilización de aerogeneradores de potencia inferior a los 100 kW.²³

De acuerdo con las normas internacionales, los molinos de esta tecnología deben tener un área de barro que no supere los 200 m². Esta tecnología cuenta con una serie de ventajas que la eólica convencional no permite y se adapta más a las necesidades del proyecto:

- ✓ Permite el suministro de electricidad en lugares aislados y alejados de la red eléctrica.
- ✓ Genera energía de manera distribuida (Microgeneración distribuida) reduciendo de este modo las pérdidas de transporte y distribución.
- ✓ Produce electricidad en los puntos de consumo, adaptándose a los recursos renovables y a las necesidades energéticas de cada lugar.
- ✓ Puede combinarse con fotovoltaica en instalaciones híbridas.

Un ejemplo de este tipo de energía es la que proporciona la tecnología del rotor helicoidal del LIAM F1, que permite captar la energía cinética del viento para transformarla en energía mecánica con una producción media de 1.500 kilovatios/hora.

Por otro parte, la peculiar disposición de las hélices del rotor contribuye a aminorar la contaminación acústica, ya que el nivel de ruido está por debajo de los 45 decibelios que determina la normativa para las zonas urbanas.

Con el ingenioso diseño de este rotor se ha conseguido una máxima eficiencia, en torno al 52%, con picos que pueden llegar hasta el 59%; aunque está previsto, que con algunas mejoras pueda llegar a capturar hasta el 88% de la energía eólica.

²³ Sarret.

En cualquier caso, se trata de una interesante alternativa a la energía solar que permite diversificar el abanico de opciones que posibilitan el uso de energías renovables, para conseguir que diferentes instalaciones sean energéticamente autónomas.

Por todas las ventajas que presenta, referidas anteriormente, es la que más se adapta a las necesidades del proyecto, máxime si tenemos en cuenta que es una alternativa viable y complementaria a la energía fotovoltaica, que en definitiva es la base de este.

7.1.2 Sistema de generación hidroeléctrico

La energía hidráulica es el aprovechamiento de la energía cinética de una masa de agua, que previamente embalsada, se precipita desde una determinada altura consiguiendo mover unas turbinas que conectadas a un alternador son capaces de generar energía eléctrica.

Aunque las centrales hidráulicas sean una de principales fuentes de generación renovable estas instalaciones se ubican siempre siguiendo el cauce natural de agua y por tanto no nos serán de ayuda para aquellos lugares donde no tengamos acceso a un salto de agua; por tal motivo esta fuente de energía no es viable para el proyecto.

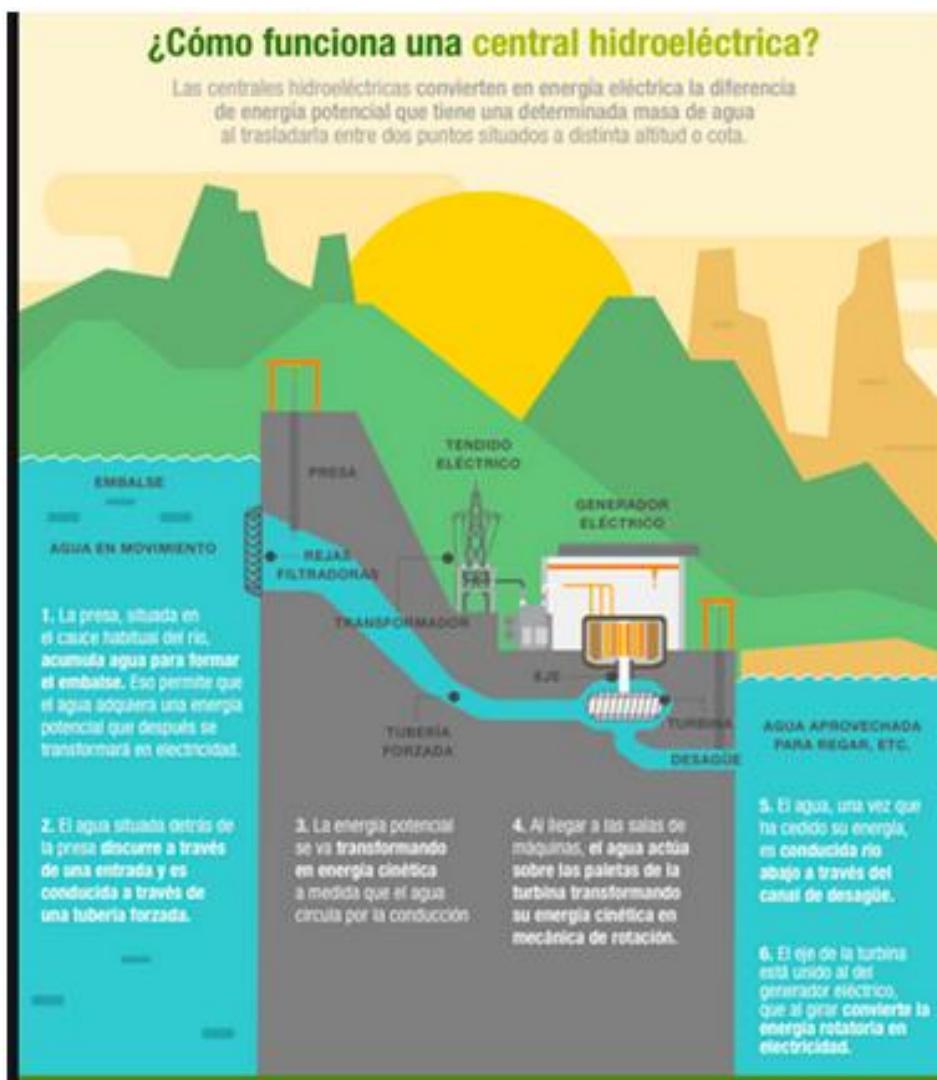


Ilustración 13. ¿Cómo funciona una central hidroeléctrica?

7.1.3 Sistema de generación solar

Es la energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el sol. La radiación solar que alcanza la Tierra puede aprovecharse por medio del calor que produce, como también a través de la absorción de la radiación, por ejemplo, en dispositivos ópticos o de otro tipo.

Dicha energía necesita sistemas de captación y de almacenamiento, la cual aprovecha la radiación del Sol de varias maneras diferentes:

- ✓ Utilización directa: mediante la incorporación de acristalamientos y otros elementos arquitectónicos con elevada masa y capacidad de absorción de energía térmica, es la llamada energía térmica pasiva.
- ✓ Transformación en calor: es la llamada energía solar térmica, que consiste en el aprovechamiento de la radiación que proviene del Sol para calentar fluidos que circulan por el interior de captadores solares térmicos.
Este fluido se puede destinar para el agua caliente sanitaria (ACS), dar apoyo a la calefacción para atemperar piscinas, etc.
- ✓ Transformación en electricidad: es la llamada energía solar fotovoltaica que permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integrantes de módulos solares.
Esta electricidad se puede utilizar de manera directa, se puede almacenar en acumuladores para un uso posterior, e incluso se puede introducir en la red de distribución eléctrica.
- ✓ Entre estas prestaremos especial interés a la energía solar fotovoltaica ya que presenta una serie de ventajas que nos son de especial interés para este proyecto.
- ✓ El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es sencillo y de bajo coste. Además, la instalación de sistemas fotovoltaicos de pequeño dimensionado es simple, rápida y sólo requiere de herramientas y equipos de medición básicos.

7.1.4 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina. Una importante ventaja de esta tecnología es que permite la generación de energía en el mismo lugar de consumo mediante la integración arquitectónica.

Esto permite dar lugar a sistemas de generación distribuida en los que se elimina casi por completo las pérdidas relacionadas con el transporte, que actualmente suponen un 40% del total.

Además, por cada Kwh generado con energía solar fotovoltaica, estaremos evitando la emisión a la atmósfera de aproximadamente 1 kg de CO₂, en el caso de que lo comparásemos con la producción de energía eléctrica generada a partir del carbón, o aproximadamente de 0,4 Kg de CO₂ en comparación con la producción de energía eléctrica con gas natural.

La generación distribuida consiste en que mediante placas fotovoltaicas, instaladas en los tejados de los bloques de pisos, oficinas e instalaciones, se genere energía capaz de abastecerlos de forma autónoma. En 2010, la energía fotovoltaica instalada suponía un total de 3787 Mw, mientras que la producida ascendía a 6279 Mw.

Las ventajas de la generación distribuida se asientan en tres pilares:

- Se reducen las pérdidas eléctricas en la red.
- Tienen baja potencia, normalmente por debajo de los 3KW.
- La energía que generan no revierte ningún flujo hacia la red de transporte.



Ilustración 14. Funcionamiento energía fotovoltaica

Proyecto “Sun-to-liquid”: pretende producir combustibles renovables a partir de una mezcla de vapor de agua a CO₂ utilizando para ello energía termosolar. Cabe decir, que dicho ultímar proyecto está en fase experimental y que, hasta el momento, ha logrado con éxito la primera síntesis de “queroseno solar”.

Significará una revolución en la generación de energías renovables convirtiéndose en una alternativa viable a las energías fósiles, y en consecuencia un gran paso en cuanto a garantizar la sostenibilidad del medioambiente.

La compañía Canadiense Carbon Engenieering mediante el proyecto “Air to fuel”, utiliza electricidad renovable para generar hidrógeno a partir del agua, al que luego mezcla con CO₂, capturado de la atmósfera, para producir combustibles de hidrocarburos como el diesel, la gasolina y el jet-A.

Ambos proyectos permiten reducir notablemente la huella de carbono generada por el sector del transporte, ya que su gran ventaja es utilizar energía limpia, es decir, no emitir carbono a la atmósfera.

En cuanto al mantenimiento de éstos paneles fotovoltaicos es nulo o muy escaso, debido a su propia configuración: no tienen partes móviles y las células y sus conexiones internas están en capsuladas en varias capas de material protector. No obstante, dada su instalación en una superficie articulable y a los elementos se realizará una inspección general 1 ó 2 veces al año donde se asegurara que las conexiones entre paneles y al regulador estén bien ajustadas y libres de corrosión, se deberá comprobar también si los paneles se encuentran sucios y en caso de ser así se limpiaran.²⁴

²⁴ Sarret.

8 Estudio de viabilidad

8.1 Ejercicio práctico:

Este supuesto está basado en un aeropuerto con las siguientes características:

- Volumen y capacidad de pasajeros de aproximadamente 50.000.000 y de 55.000.000 respectivamente.
- 90 operaciones por hora siendo 335.651 anuales y de carga unas 173.000.
- operando en 64 países, 87 aerolíneas, con 379 rutas.
- 2 terminales, 3 pistas, 160 puertas de embarque.
- 39 carruseles de recogida de equipajes, 400 mostradores de check in, 230 plazas de parking en hangares, 20.000 plazas de parking para turismos.
- 4 salas VIP (5.000 m²), 50 restaurantes (16.000m²) y 90 tiendas (20.000 m²).

Los servicios aeroportuarios de ground handling, cargo y equipos GSE; con una plantilla de aproximadamente unos 1333 empleados y una flota de:

Turismos: 100

Tractores: 219

Camiones de bomberos: 10

Mulillas: 33

Jardineras: 73

Push back: 60

Escaleras: 113

Cintas: 140

Elevadores: 53

Commanders: 67

Transferidores: 87

A continuación detallaremos una descripción de cada tipo de vehículo:



Ilustración 15. Turismo eléctrico

Turismos: todo vehículo, utilizado por los empleados y sus funciones en pista, de al menos 4 ruedas destinado al transporte de uno a cinco operarios.



Ilustración 16. Tractor eléctrico

Tractores: vehículos usados para llevar los carros o contenedores del patio de maletas al avión correspondiente.



Ilustración 17. Mulilla eléctrica

Mulillas: tractores de menor tamaño ubicado en exclusiva en los patios de maletas, encargados de la movilidad de los carros o contenedor de maletas dentro de éste.



Ilustración 18. Jardinera eléctrica

Jardineras: autobuses destinados a la movilidad de los pasajeros desde la terminal al avión.



Ilustración 19. Push back eléctrico

Push back: encargado del retroceso del avión desde el tren delantero de éste.



Ilustración 20. Escalera eléctrica

Escaleras: sistema de ayuda al embarque y desembarque de personal de vuelo y pasajeros.



Ilustración 21. Cinta eléctrica

Cintas: sirven para hacer llegar las maletas a la bodega de los aviones que no están paletizados, es decir que no están organizadas las maletas dentro de los contenedores desde el patio de maletas.



Ilustración 22. Elevador eléctrico

Elevadores: maquinaria destinada a la manipulación de la carga aérea en la bodega del avión para movilizar los contenedores de maletas, en aviones de pequeña envergadura.



Ilustración 23. Commander eléctrico

Commanders: maquinaria destinada a la manipulación de la carga aérea que se fija a la bodega del avión gracias a los calzos, destinados a aviones de gran envergadura.



Ilustración 24. Transferidor eléctrico

Transferidores: ayuda para movilizar los contenedores de maletas a la bodega junto con los commanders.

En cuanto a energía:

	Características			Uds	Total
	Tensión	Capacidad	Energía		Energía
	V	Ah	kWh		kWh
Turismos	23,95	232,55	66,00	100	6600,00
Camiones bomberos	79,04	767,44	294,00	10	2940,00
Tractor	86,00	835,00	225,00	219	49275,00
Mulillas	80,00	776,74	102,00	33	3366,00
Jardineras	113,29	1100,38	198,00	73	14454,00
Push back	800,00	7767,44	418,00	60	25080,00
Escaleras	86,00	835,00	245,00	113	27685,00
Cintas	86,00	835,00	260,00	140	36400,00
Elevadores	41,91	406,97	110,00	53	5830,00
Commanders	57,48	558,13	225,00	67	15075,00
Transferidores	63,35	651,16	290,00	87	25230,00
					Total: 211935,00 kWh

Tabla 9. Desglose consumo flota

Hipótesis 1: Temporada alta

Uds	P nominal	Carga máxima	Carga media	% Carga	Tiempo	Energía	
	kW	kg	kg	%	h	kWh	
Turismos	100	66	3.500	1.750	50,00%	4,50	148,50
Camiones bomberos	10	294	12.500	12.500	100,00%	0,10	29,40
Tractor	219	225	60.000	30.000	50,00%	3,00	337,50
Mulillas	33	102	3.500	1.750	50,00%	3,25	165,75
Jardineras	73	198	9.000	9.000	100,00%	3,50	693,00
Push back	60	418	600.000	550.000	91,67%	3,00	1149,50
Escaleras	113	245	60.000	30.000	50,00%	5,00	612,50
Cintas	140	260	60.000	30.000	50,00%	5,00	650,00
Elevadores	53	110	3.500	1.750	50,00%	3,00	165,00
Commanders	67	225	7.000	3.500	50,00%	3,00	337,50
Transferidores	87	290	15.000	7.500	50,00%	3,00	435,00
					Total diario:	4723,65 kWh	

Energía	
Marzo	146433
Abril	141710
Mayo	146433
Junio	141710
Julio	146433
Agosto	146433
Septiembre	146433
Total mensual	1015585 kWh

Tabla 10. Consumo flota temporada alta

Hipótesis 2: Temporada baja

Uds	P nominal	Carga máxima	Carga media	% Carga	Tiempo	Total	
	kW	kg	kg	%	h	Energía	
Turismos	40	66	3.500	1.250	35,71%	2,70	63,64
Camiones bomberos	4	294	12.500	12.500	100,00%	0,06	17,64
Tractor	88	225	60.000	25.000	41,67%	1,80	168,75
Mulillas	13	102	3.500	1.250	35,71%	1,95	71,04
Jardineras	29	198	9.000	9.000	100,00%	2,10	415,80
Push back	24	418	600.000	500.000	83,33%	1,80	627,00
Escaleras	45	245	60.000	30.000	50,00%	3,00	367,50
Cintas	56	260	60.000	20.000	33,33%	3,00	260,00
Elevadores	21	110	3.500	1.250	35,71%	1,80	70,71
Commanders	27	225	7.000	3.000	42,86%	1,80	173,57
Transferidores	35	290	15.000	6.000	40,00%	1,80	208,80
					Total diario:	2363,17 kWh	

Energía	
Enero	73258
Febrero	66169
Octubre	73258
Noviembre	70895
Diciembre	73258
Total mensual	356839 kWh

Tabla 11. Consumo flota temporada baja

En cuanto a los consumos de energía se observa una clara diferencia en cuanto a la temporada alta y la temporada baja ello es debido a la diferencia en el volumen de tráfico aéreo; para obtener dichos consumos se ha tenido en cuenta la HSP (hora solar pico: unidad que mide la irradiación solar y se define como la energía por unidad de superficie que se recibiría con una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m²).

	Consumo	Generación FV	% Autoconsumo
	kWh	kWh	%
Enero	73258,31	55318,91	75,51%
Febrero	66168,80	65138,63	98,44%
Marzo	146433,15	92540,82	63,20%
Abril	141709,50	97021,66	68,47%
Mayo	146433,15	112764,32	77,01%
Junio	141709,50	114341,44	80,69%
Julio	146433,15	115376,84	78,79%
Agosto	146433,15	107173,05	73,19%
Septiembre	146433,15	87127,74	59,50%
Octubre	73258,31	72203,33	98,56%
Noviembre	70895,14	55957,80	78,93%
Diciembre	73258,31	53206,13	72,63%
Totales:	1372423,64	1028170,67	74,92%

Tabla 12. Consumo y autoconsumo flota

Como podemos observar en la tabla el consumo es ligeramente superior a la generación de FV, siendo una autogestión del 90% y el restante es preciso adquirirlo por la red eléctrica nacional, estos periodos coinciden con los de temporada alta, es decir, con los de mayor actividad aeroportuaria, no obstante en el caso de algunos flujos horarios la producción sea superior a las necesidades de consumo la energía autogenerada puede ser vertida a la red eléctrica y percibir el precio de tarifa establecido para la producción mediante este tipo de instalaciones, o bien "almacenarla" en la red para compensar los consumos de la autoproducción o ser utilizada para otros usos como la iluminación de pistas o terminales.

La diferencia negativa entre la energía generada y el consumo real se puede tener en cuenta para una hipotética ampliación de infraestructura FV al objeto de cubrir las necesidades de consumo de energía propia o con otras fuentes de energía renovables como es el caso de la minieólica anteriormente explicada.

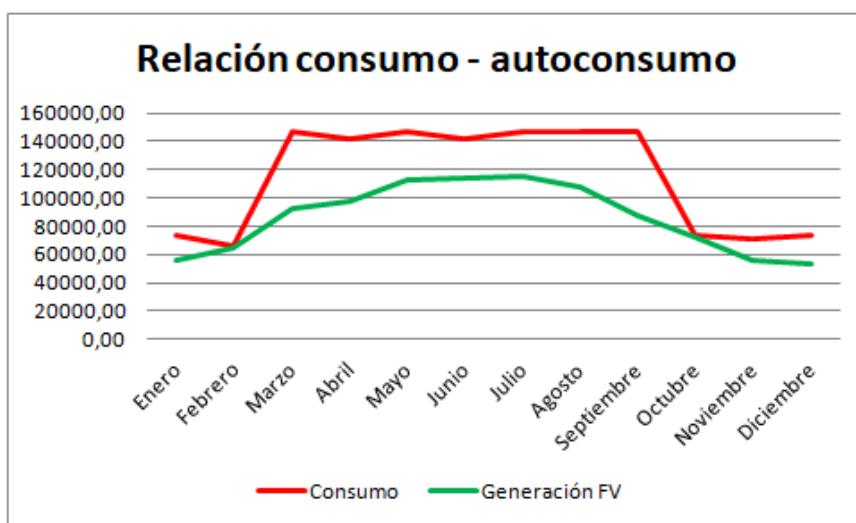


Ilustración 25. Gráfica relación consumo - autoconsumo

Teniendo en cuenta los datos referidos haré un análisis de los diferentes costes:

- Combustibles.
- Infraestructuras.
- Inversiones.
- Mantenimiento.

8.1.1 Costes de combustible

Después de consultar el Portal de Transparencia de la Red Eléctrica Española (ESIOS); Se puede ver como, por ejemplo el 14 de febrero de 2019, a las 04h00 era de poco más de 0,06 euros el kWh, pero que a las 21h00 era de casi 0,15 euros el kWh. En los últimos años, el precio medio ha sido de unos 0,11 €/kWh.

Tipo de vehículo	€/100Km	Ahorro en comparación con VE
Gasolina	7,00 €	5,89 €
Gasóleo	5,20 €	4,09 €
Vehículos pesados	9,50 €	8,39 €
Eléctrico	1,11	

Tabla 13. Ahorro en comparación con el VE

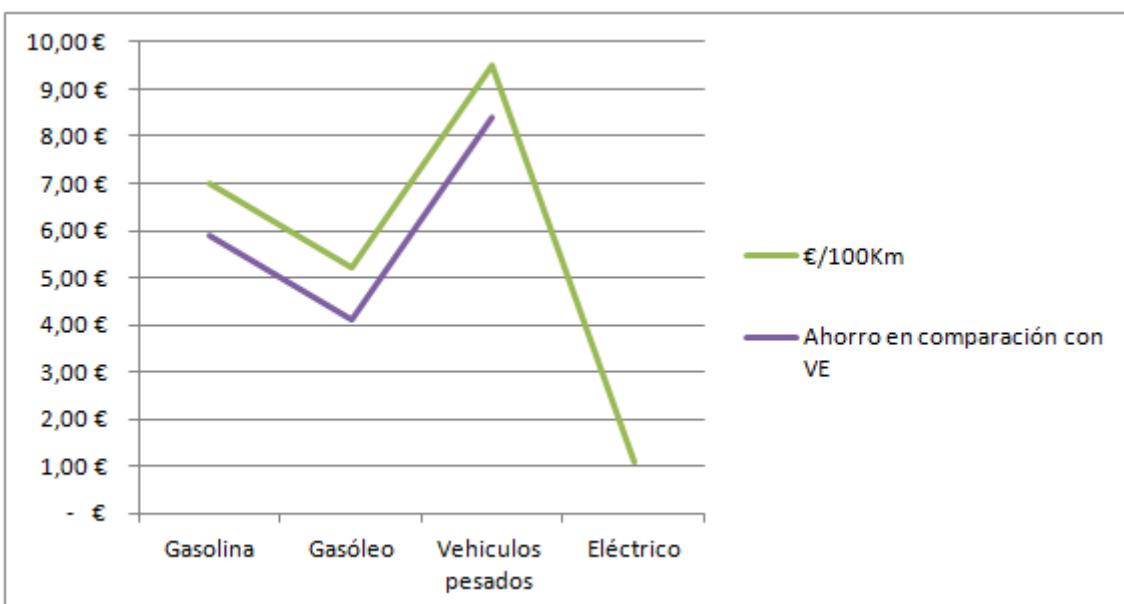


Ilustración 26. Gráfica en comparación con el VE

Teniendo en cuenta una vida útil estimada en 225.000km veremos el Gasto total en combustible:

Vida útil	225.000 KM	Gasto total
Gasolina		15.750,00 €
Gasóleo		11.700,00 €
Eléctrico		2.470,00 €
Vehículos pesados		21.370,00 €

Tabla 14. Gasto total en función de la vida útil de vehículo

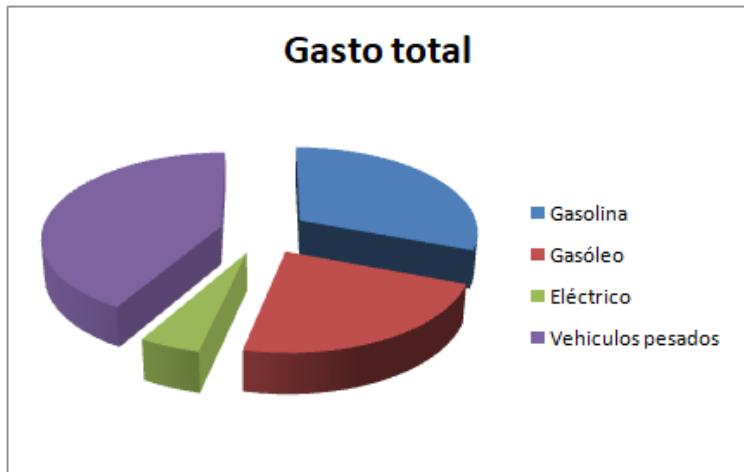


Ilustración 27. Gráfica Gasto total

Por tanto, el precio de la energía adquirida se refiere solamente al 10% del consumo total ya que el resto es autogenerada.

Basándonos en el estudio y extrapolando estos consumos medios al resto de la flota el consumo total ascendería a:

Hipótesis 1: Temporada alta

	Uds	P nominal	Costes	Costes totales
		kW	€	
Turismos	100	66	2470,00	247000,00
Camiones bomberos	10	294	11002,73	110027,27
Tractor	219	225	8420,45	1844079,55
Mulillas	33	102	3817,27	125970,00
Jardineras	73	198	7410,00	540930,00
Push back	60	418	15643,33	938600,00
Escaleras	113	245	9168,94	1036090,15
Cintas	140	260	9730,30	1362242,42
Elevadores	53	110	4116,67	218183,33
Commanders	67	225	8420,45	564170,45
Transferidores	87	290	10853,03	944213,64
				7931506,82 €

Tabla 15. Costes flota de vehículos temporada alta

Hipótesis 2: Temporada baja

Uds	P nominal	Costes	Costes totales
	kW	€	
Turismos	40	66	2470,00
Camiones bomberos	4	294	11002,73
Tractor	88	225	8420,45
Mulillas	13	102	3817,27
Jardineras	29	198	7410,00
Push back	24	418	15643,33
Escaleras	45	245	9168,94
Cintas	56	260	9730,30
Elevadores	21	110	4116,67
Commanders	27	225	8420,45
Transferidores	35	290	10853,03
			3172602,73 €

Tabla 16. Costes flota de vehículos temporada baja

Basándonos en las tablas anteriores de las hipótesis de temporada, se puede concluir que el 58% del consumo de energía estimado corresponde a la temporada alta siendo el 32% restante el de la temporada baja, por ello se deduce que el coste medio en energía suministrada de la red de toda la flota de vehículos asciende a 5.615.506,83€.

Teniendo en cuenta el estudio realizado el coste medio en energía de toda la flota de vehículos sería del 10%, ya que el restante provendría de energía autogenerada, asciendo a 561.550,683 €; siendo esto un ahorro de 5.053.956,15€.

Ello contribuirá a una mayor rentabilidad de la infraestructura, cumpliendo así dos objetivos fundamentales, la amortización de esta y en segundo lugar contribuyendo a la descarbonización objetivo fundamental de este trabajo.

Cabe destacar que existe una gran incertidumbre asociada a la predicción de dichos costes, pues hay numerosos factores aleatorios, que influyen en el mismo, a saber: la estacionalidad o el cierre temporal de refinerías por guerras, la gran volatilidad de los precios, claro ejemplo de ello es la caída actual del precio del barril de petróleo Brent, debido a la pugna interna de la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo) entre Rusia y Arabia Saudí o a la crisis sanitaria por el Covid-19.

8.1.2 Costes de infraestructura:

Total: 449.900,00 €

Para el presupuesto de una instalación como la expuesta de unos 0.67-0.70 €/kWp vendría a ser una inversión de aproximadamente unos 442.200€-462.000€.

1650 ud – Módulo fotovoltaico 400Wp – 110€/módulo → 181.500,00€

6 ud – Inversor 100kW – 6900€/inversor → 41.400,00€

Estructura → 140.000,00€

Cableado, cuadros, medidores → 25.000,00€

Mano de obra → 52.000,00€

Legalización → 10.000,00€

8.1.3 Costes de la flota:

Total: 32.106.500,00 €

Turismos: 100 → 20.000,00 €/ud

Tractores: 219 → 40.000,00 €/ud

Camiones de bomberos: 10 → 41.000,00 €/ud

Mulillas: 33 → 26.000,00 €/ud

Jardineras: 73 → 18.000,00 €/ud

Push back: 60 → 59.000,00 €/ud

Escaleras: 113 → 33.000,00 €/ud

Cintas: 140 → 29.000,00 €/ud

Elevadores: 53 → 30.000,00 €/ud

Commanders: 67 → 34.500,00 €/ud

Transferidores: 87 → 40.000,00 €/ud

8.1.4 Costes de inversión

Sumatorio de los costes de infraestructura 449.900,00 € y de la flota 32.106.500,00 €; lo cual arroja un total de 32.556.400,00 €.

Esta inversión es viable por dos razones:

- 1- Por el ahorro justificado en el apartado de costes de combustible, dadas las notables diferencias con respecto a los combustibles fósiles y a los costes de la energía suministrada por la red Eléctrica Nacional.
- 2- La contribución a la descarbonización, el cual es el objetivo prioritario de este estudio.

8.1.5 Costes de mantenimiento

En cuanto a los costes de mantenimiento, sí parece haber consenso en la literatura a la hora de afirmar que los VE tienen unos costes más competitivos (menores) que los VC.

La razón es que los VE prescinden de gran parte de los elementos móviles (pistones, correas de distribución, etc.) necesarios en los VC, disminuyendo la complejidad de las posibles reparaciones y las probabilidades de fallos. Para la estimación de los costes de mantenimiento este proyecto se ha apoyado en la Tabla 17, que ofrece información acerca de los costes de mantenimiento y los costes de los seguros de distintas tecnologías de transporte (vehículos híbridos, vehículos eléctricos y vehículos de combustión: diesel y gasolina) en distintos países como EEUU, Japón y Reino Unido.

En concreto, la aproximación seguida en el cálculo de dichos costes para España se basa en los supuestos considerados para Reino Unido (pues se ha estimado que la semejanza cultural con respecto a España es mayor que para el resto de los países estudiados y así también los hábitos de conducción).

Por otro lado, los costes de mantenimiento de los VC se han ponderado según el uso de vehículos diesel y vehículos de gasolina en el parque de vehículos actual español.

Los costes de mantenimiento se considerarán además constantes para el horizonte de ejecución, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Tecnología	Uso	Precio por tecnología [€/Vehículo/año]	Precio final [€/Vehículo/año]
Gasolina	0.37	354, [42]	598.44 (VC)
Diesel	0.63	742, [42]	
Eléctrico	1	273, [42]	273 (VE)

Tabla 17. Costes de mantenimiento

9 Conclusiones

El paulatino aumento de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera ha provocado la declaración de emergencia climática, que tiene como objetivo la concienciación de la problemática de contaminación y las graves consecuencias sobre el calentamiento global. Por esta razón, este proyecto, persigue aportar alternativas que reduzcan los niveles de contaminación, de ahí, la propuesta de sustituir la flota de vehículos de combustibles fósiles que operan en el lado tierra del aeropuerto por vehículos eléctricos.

Dicha alternativa, presenta dos posibilidades:

1. Los vehículos especiales, no son susceptibles de electrificación , pues esta no genera todavía la potencia necesaria para realizar las funciones encomendadas
2. Los vehículos ligeros, en cambio si ha sido objeto de estudio y podemos destacar los siguientes aspectos relevantes.

En cuanto a la electrificación de los vehículos ligeros cabe reseñar varios inconvenientes:

- Un precio más elevado con respecto a los de combustión interna, entre los 10.000 y los 15.000€, lo cual se vería compensado por el ahorro en el combustible y que en un plazo de 10 años sería amortizable dicho incremento de gasto de adquisición.
- El VE presenta menor autonomía, que teniendo en cuenta, que estos vehículos tienen un área reducida de movilidad, ello no supondría un problema adicional, puesto que las recargas pueden ser a discreción y en radio de acción limitado.
- El mayor hándicap que presentan estos vehículos es la carga de las baterías, no obstante, este problema se minimiza con la disponibilidad de baterías de sustitución.
- Por último, otro inconveniente es el elevado coste de las infraestructuras de las fuentes de energía, ya sea mediante paneles fotovoltaicos o microaerogeneradores.

Como ventajas podemos destacar las siguientes:

- La escasa emisión de ruidos, contribuyendo así sustancialmente a la descontaminación acústica.
- Al carecer de un bloque de motor, el mantenimiento es mínimo quedando reducido prácticamente a los cuidados que precisa la batería, a la vez, que se reduce el peso y en consecuencia la potencia desarrollada por esta es empleada en la actividad específica a desarrollar por cada uno de ellos en sus cotidianos cometidos.
- Reducción de los costes de mantenimiento

En el proyecto hago mención al vehículo de pila de combustible de hidrógeno como potencial alternativa, no obstante, en la actualidad todavía se trata de una tecnología no aplicable por diferentes razones, a saber: elevado coste, fase experimental de la generación de la energía, el hidrógeno, al riesgo debido a que éste es muy volátil e inflamable. No se descarta que en un futuro cercano sea una solución muy interesante.

Con respecto a la elección del tipo de batería, la que presenta mayores prestaciones, es la de ión-litio, ya que tiene una mayor vida útil, elevada eficiencia, no precisan de mantenimiento, y además es la menos contaminante, pues no posee elementos nocivos, tales como, el ácido sulfúrico o el plomo. Por otra parte, con esta elección, contribuiremos a fomentar una economía circular, generando un menor número de residuos.

Mención especial merecen las baterías de Vanadio, hoy día en fase experimental o desarrollo; en caso de convertirse en una realidad viable, éstas supondrían una auténtica revolución fundamentalmente por su ilimitada vida útil y la rapidez de recarga.

En un futuro, el vehículo eléctrico no solo servirá como elemento de movilidad, sino que también será utilidad como fuente de energía eléctrica: TECNOLOGÍA VEHICLE TO GRID (V2G).

En ese mismo sentido, la flota de vehículos eléctricos del aeropuerto podrá utilizarse como proveedora de energía para diferentes usos, como son: oficinas, establecimientos comerciales, iluminación interior de las naves, etc...: TECNOLOGÍA VEHICLE TO BUILDING (V2B)

Por lo que respecta a los diferentes tipos de conectores, he elegido el Combo 2 (IEC-62196-3), por su versatilidad combinatoria entre un conector de corriente alterna Tipo 2 (Mennekes) y uno de corriente continua con dos contactos, destacando por ello su potencia y versatilidad de carga.

Teniendo en cuenta el estudio de viabilidad reflejado en la grafica consumo – autoconsumo, se observa una diferencia entre la demanda, energía consumida, y la energía autogenerada a través de la planta fotovoltaica, dicho desfase se compensa mediante la compra de energía a la red o bien en un futuro con la generación propia de otro tipo de energía renovable, como son los microaerogeneradores.

En cuanto a los consumos de energía se observa una clara diferencia en cuanto a la temporada alta y la temporada baja ello es debido a la diferencia en el volumen de tráfico aéreo; para obtener dichos consumos se ha tenido en cuenta el HSP

Con respecto al capítulo de costes se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. El proyecto es claramente viable desde el punto de vista de los costes de infraestructura, ya que es amortizable como ya se ha argumentado en dicho punto.
2. La rentabilidad de la electrificación de la flota es manifiesta, ya que el ahorro estimado en cuanto a la utilización de energías generadas por combustibles fósiles o bien mediante energía eléctrica suministrada a través de la red eléctrica nacional o la FV autogenerada es evidente, como así queda demostrado en las gráficas del punto de costes.
3. Para mayor abundamiento de lo expuesto, dicho proyecto, además, satisface el objetivo primario y prioritario del estudio, es decir la contribución al proceso de la descarbonización.

En cuanto a iniciativas de reducción de emisiones de CO₂, he de destacar haber podido encontrar una experiencia piloto de transformación en los aeropuertos asiáticos y estadounidenses llamada "Oil to electricity" que consiste en la sustitución de los vehículos propulsados por energías fósiles tradicionales a vehículos impulsados por energía eléctrica u otras energías limpias al objeto de alcanzar un "desarrollo verde" que garantice una mayor calidad del aire en los aeropuertos y su entorno, es decir, los mismos objetivos que el presente proyecto, hecho que refuerza el interés por la problemática tratada

Me gustaría destacar también la gran dificultad de acceso y obtención de información primaria ya que ésta no es pública y las empresas y las organizaciones implicadas parece ser que son bastante reticentes a facilitarla o dejarla accesible, lo que dificulta la innovación más abierta. Es verdad que la rapidez en la que se producen los avances científicos y tecnológicos genera una percepción de riesgo que potencia un tratamiento de confidencialidad y secretismo al objeto de evitar efectos colaterales que se puedan derivar en que la competencia pueda aprovechar los avances o detectar debilidades. La pugna por la competitividad es muy alta, y venimos de unos modelos organizativos basados en la competitividad y no tanto en generar ecosistemas de innovación abierta o colaborativa.

Toda la información recaudada para la realización de este trabajo me ha permitido confirmar la hipótesis inicial de que se pueden llevar a cabo muchas medidas encaminadas a reducir los altos niveles de contaminación que están provocando el grave problema del cambio climático. Gracias al desarrollo de este trabajo he podido constatar que todavía se está a tiempo de adoptar actuaciones al objeto de poner en práctica un modelo económico más sostenible, es decir, que se puede compaginar el desarrollo económico con el respeto al planeta.

10Bibliografía

- ⊕ Baterías: El vehículo eléctrico para flotas IDAE
https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_12144_G003_VE_para_flotas_2012_f3176e30.pdf
- ⊕ AENA: acerca del aeropuerto:
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-madrid-barajas/presentacion.html>
- ⊕ AENA: medio ambiente:
<http://www.aena.es/es/aeropuerto-madrid-barajas/medio-ambiente.html>
- ⊕ Autocación, flota de vehículos del aeropuerto:
<https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/coches-vehiculos-aeropuerto>
- ⊕ Modelo de expansión en los sectores eléctrico y de transporte: descarbonización y transición energética, Autor: Rosendo Castañón Naseiro:
<https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/coches-vehiculos-aeropuerto>
- ⊕ Trabajo fin de grado: Diseño de una estación de recarga para vehículos eléctricos móvil y autosuficiente, autor: Marc lillo Sarret:
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/115326/TFG_%20MARC_LILLO_2017_DEE.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ⊕ Trabajo fin de grado: Valoración técnico-económica del automóvil eléctrico e híbrido frente al automóvil convencional como solución para un particular/empresa, Autor: González Martín, Aitor:
<https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/1009/PFC000005.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ⊕ Trabajo fin de grado: Cargador de batería para vehículos, Autor: Javier Logroño Diéuez:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/112391/TFG%20CARGADOR%20DE%20BATER%C3%8DA%20PARA%20VEH%C3%8DCULOS%20-%20JAVIER%20LOGRO%C3%91O%20DI%C3%89GUEZ.pdf>
- ⊕ Cargador de baterías en 6 minutos
<https://forococheselectricos.com/2019/08/echion-technologies-asegura-que-las-baterias-de-los-coches-electricos-podran-cargarse-en-solo-6-minutos.html>
- ⊕ Puntos de recarga sostenible:
<https://www.lugenergy.com/punto-recarga-energia-renovables-2/>
- ⊕ Motorpasión: coches de hidrógeno: así funciona esta tecnología de cero emisiones contaminantes
<https://www.motorpasion.com/tecnologia/coches-de-hidrogeno-asi-funciona-esta-tecnologia-de-cero-emisiones>
- ⊕ Comparativa coche de hidrógeno vs coche eléctrico: El coche de hidrógeno VS el coche eléctrico: la competencia por ser la motorización del futuro:
<https://www.xataka.com/automovil/el-coche-de-hidrogeno-vs-el-coche-electrico-la-competencia-por-ser-la-motorizacion-del-futuro>
- ⊕ Guía del vehículo eléctrico de la Comunidad de Madrid
<https://www.icmm.csic.es/es/divulgacion/documentos/Guia-del-Vehiculo-Electrico-2009-fenercom.pdf?id=127>

- ⊕ Coches eléctricos en Europa | Arranca el proyecto EVC1000
<https://cargacar.com/noticias/coches-electricos-europa-evc1000/>
- ⊕ Consulta pública previa: proyecto de real decreto por el que se regula la concesión directa de ayudas para la adquisición de vehículos de energías alternativas en 2019(plan Movea 2019)
https://industria.gob.es/es-es/participacion_publica/Documents/consulta-publica-previa-MOVEA-2019.pdf
- ⊕ Aena: proyectos ambientales
<http://www.aena.es/es/corporativa/proyectos-ambientales.html>
- ⊕ Plan de energías renovables 2011-2020
https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_PER_2011-2020_def_93c624ab.pdf
- ⊕ Página web del Gobierno de España: Calidad y evaluación ambiental:
<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/default.aspx>
- ⊕ Página web del Gobierno de España: Reunión inventario GEI:
REUNIÓN - resumeninventariogei-ed2019_tcm30-486322.pdf
- ⊕ Trabajo fin de grado; Autor: Jorge Campo Ávila: Diseño y desarrollo de un sistema vehicle to home (v2h) para vehículos eléctricos
http://oa.upm.es/47493/1/PFC_JORGE_CAMPO_AVILA_2017.pdf
- ⊕ El compuesto que alargará la vida de las baterías (y de las renovables)
https://www.elconfidencial.com/sociedad/2019-11-21/vanadio-baterias-renovables-durabilidad-bra_2345476/
- ⊕ Catálogo características Aeroexpo: para toda la flota de vehículos
<https://pdf.aeroexpo.online/es/>
- ⊕ Catálogo precios Autoline: para toda la flota de vehículos
<https://autoline.es/-/carretillas-elevadoras--c398>
- ⊕ Precios electricidad; Suelosolar
<https://suelosolar.com/quia/venta-a-red-energia>
- ⊕ Coches de hidrógeno, sus ventajas e inconvenientes
<https://www.compramostucoche.es/magazine/coches-de-hidrogeno/>
- ⊕ Deloitte Un modelo energético sostenible para España en 2050
<http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0726292.pdf>
- ⊕ Comparativa coche eléctrico vs coche de combustión
<https://electromovilidad.wordpress.com/comparativa-coche-electrico-vs-coche-combustion/>
- ⊕ PVGIS. European Commission
<https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>

10.1 Glosario ilustraciones

Ilustración 1 Flocken Elektrowagen el olvidado primer VE 1888(Fuente: Wikipedia)...	19
Ilustración 2 Sistema de propulsión. Fuente: TFG Aitor González Martín	22
Ilustración 3. Funcionamiento coche eléctrico de pila de combustible.....	25
Ilustración 4 Coche eléctrico de pila de combustible de hidrógeno. Fuente Xataka.com	26
Ilustración 5 Línea de alimentación y conexiones de control inalámbrico entre los vehículos y la red eléctrica.....	40
Ilustración 6. Conector schuko.....	42
Ilustración 7. Conector Tipo 1 (SAEJ1772)	42
Ilustración 8. Conector tipo 2 (IEC 62196-2)	43
Ilustración 9. Conector tipo 3	43
Ilustración 10. Conector CHAdeMo.....	44
Ilustración 11. Conector Combo 2 (IEC-62196-3)	44
Ilustración 12. Funcionamiento generación de energía eólica	46
Ilustración 13. ¿Cómo funciona una central hidroeléctrica	47
Ilustración 14. Funcionamiento energía fotovoltaica	49
Ilustración 15. Turismo eléctrico	51
Ilustración 16. Tractor eléctrico	51
Ilustración 17. Milulla eléctrica	51
Ilustración 18. Jardinera eléctrica.....	52
Ilustración 19. Push back eléctrico.....	52
Ilustración 20. Escalera eléctrica.....	52
Ilustración 21. Cinta eléctrica	52
Ilustración 22. Elevador eléctrico	53
Ilustración 23. Commander eléctrico.....	53
Ilustración 24. Transferidor eléctrico	53
Ilustración 25. Gráfica relación consumo - autoconsumo	55
Ilustración 26. Gráfica en comparación con el VE.....	56
Ilustración 27. Gráfica Gasto total	57

10.2 Glosario tablas

Tabla 1 Fuente. Plan de apoyo a la movilidad alternativa 2017	8
Tabla 2 Fuente. Plan de apoyo a la movilidad alternativa 2017	9
Tabla 3. Ayudas: pública y del fabricante. Plan Moves 2020.....	16
Tabla 4 Guía del vehículo eléctrico para flotas, IDAE	17
Tabla 5. Comparativa coche eléctrico vs coche de combustión. Electromovilidad.com	18
Tabla 6. Comparativa coche Gasolina, Diésel, Híbrido y Eléctrico	24
Tabla 7 Tabla comparativa elaborada por la organización de consumidores OCU .	
Toda la vida útil de los vehículos.300.000.....	30
Tabla 8 Ventajas asociadas al VE. Eficiencia energética	35
Tabla 9. Desglose consumo flota	54
Tabla 10. Consumo flota temporada alta	54
Tabla 11. Consumo flota temporada baja	54
Tabla 12. Consumo y autoconsumo flota	55
Tabla 13. Ahorro en comparación con el VE	56
Tabla 14. Gasto total en función de la vida útil de vehículo	57
Tabla 15. Costes flota de vehículos temporada alta.....	57
Tabla 16. Costes flota de vehículos temporada baja.....	58
Tabla 17. Costes de mantenimiento.....	60

11 Recursos

La revisión bibliográfica es el resultado de un esfuerzo para recabar información e investigación proveniente de diferentes fuentes como son internet, artículos de investigación, revistas especializadas, empresas del sector aeronáutico etc...

El desarrollo del estudio de viabilidad se ha elaborado mediante un método científico basado en la demostración empírica de los datos obtenidos. Plasmando los resultados de dicho estudio mediante tablas y gráficas de elaboración propia realizadas en Excel, siendo PVGIS²⁵ una herramienta muy importante en dicho proceso.

Para el análisis de los resultados de los casos estudio, la redacción de la memoria y la presentación del proyecto se empleará el paquete de ofimática de Microsoft Office (Word, Excel y PowerPoint)

12 Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a Xavier Verge Mestre, director de proyecto final de carrera, la oportunidad ofrecida de realizar el proyecto bajo su tutela.

Agradecer también a la familia, mi madre Rosa María, a mi pareja Alex y en especial a mi padre Fernando por el apoyo aportado y dedicación para poder sacar adelante este proyecto.

13 Anexo

Rendimiento de un sistema FV conectado a red (PVGIS): simulación mediante el sistema de información geográfico fotovoltaico (Photovoltaic Geographical Information System), por el cual, introduciendo los datos obtenidos en nuestro ejercicio práctico, a saber: latitud, FV instalado, posibles pérdidas en el sistema y el ángulo de inclinación; conseguimos un informe mensual detallado sobre la producción de energía del sistema y la irradiación; dos datos muy importantes a tener en cuenta a la hora de instalar un sistema de energía fotovoltaica de autoconsumo.

Montserrat Valcarce Borràs

NIU: 1422815

²⁵ European Commission, 'PVGis'.