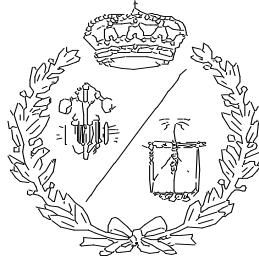


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Grado

**EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE
LA MOVILIDAD PARTICULAR DESDE EL
PUNTO DE VISTA ENERGÉTICO
(SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF PRIVATE
MOBILITY FROM THE ENERGETIC POINT OF
VIEW)**

Para acceder al Título de
GRADUADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Autor: David Gutiérrez Fernández

09 – 2017



Índice:

1. INTRODUCCIÓN:	8
1.1 ANTECEDENTES:	8
1.2 OBJETO:	9
2. DESCRIPCIÓN DE TECNOLOGÍAS A EXAMINAR:	11
2.1 GASOLINA:	11
2.2 DIÉSEL:	12
2.3 HÍBRIDO:	13
2.3.1 SEMIHÍBRIDO (MILD HYBRID):	14
2.3.2 HÍBRIDO PURO (FULL HYBRID):	15
2.3.3 HÍBRIDO ENCHUFABLE (PHEV):	15
2.4 ELÉCTRICO:	15
2.5 GAS NATURAL:	17
2.5.1 GAS NATURAL COMPRIMIDO (GNC)	18
2.5.2 GAS NATURAL LICUADO (GNL)	18
2.6 GLP (GAS LICUADO DE PETRÓLEO):	19
2.7 VEHÍCULOS DE HIDRÓGENO:	20
2.7.1 COMBUSTIÓN DE HIDRÓGENO:	20
2.7.2 PILA DE COMBUSTIBLE:	20
2.8 BIODIÉSEL:	23
2.9 BIOETANOL:	25
3. MÉTODO DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV):	27
3.1 ALCANCE DEL MÉTODO:	27
3.2 CICLO DE VIDA DEL VEHÍCULO:	28
3.2.1 ETAPA DE OBTENCIÓN DE MATERIAS PRIMAS:	29
3.2.2 ETAPA DE FABRICACIÓN:	40
3.2.3 ETAPA DE USO:	43
3.3 CICLO DE VIDA DEL COMBUSTIBLE:	43
3.3.1 GASOLINA Y DIÉSEL:	43
3.3.2 HIDRÓGENO:	46
3.3.3 ELECTRICIDAD:	47
3.3.4 GASES LICUADOS DEL PETRÓLEO (GLP):	49
3.3.5 GAS NATURAL:	50
3.3.6 BIODIÉSEL:	51



3.3.7 BIOETANOL:.....	54
4. RESULTADOS:	56
4.1 VEHÍCULO DE GASOLINA:.....	56
4.1.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:.....	56
4.1.2 ETAPA DE USO	57
4.1.3 RESULTADO FINAL:.....	59
4.2 DIÉSEL:.....	59
4.2.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:.....	59
4.2.2 ETAPA DE USO:.....	60
4.2.3 RESULTADO FINAL:.....	61
4.3 PILA DE COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO:	62
4.3.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:.....	62
4.3.2 ETAPA DE USO:.....	63
4.3.3 RESULTADO FINAL:.....	64
4.4 HÍBRIDO NO ENCHUFABLE (HEV):	65
4.4.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:.....	65
4.4.2 ETAPA DE USO:.....	66
4.4.3 RESULTADO FINAL:.....	67
4.5 HÍBRIDO ENCHUFABLE (PHEV):	67
4.5.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:.....	67
4.5.2 ETAPA DE USO:.....	68
4.5.3 RESULTADO FINAL:.....	69
4.6 ELÉCTRICO:	70
4.6.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:.....	70
4.6.2 ETAPA DE USO:.....	71
4.6.3 RESULTADO FINAL:.....	71
4.7 GLP:	72
4.7.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:.....	72
4.7.2 ETAPA DE USO:.....	73
4.7.3. RESULTADO FINAL:.....	74
4.8 GAS NATURAL COMPRIMIDO:.....	74
4.8.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:.....	74
4.8.2 ETAPA DE USO:.....	75
4.8.3 RESULTADO FINAL:.....	76
4.9 BIODIÉSEL:	77
4.9.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:.....	77



4.9.2 ETAPA DE USO:	77
4.9.3 RESULTADO FINAL:	78
4.10 ETANOL:	79
4.10.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:	79
4.10.2 ETAPA DE USO:	79
4.10.3 RESULTADO FINAL:	81
5. COMPARATIVA:	82
5.1 ENERGÍA DE FABRICACIÓN:	82
5.2 ENERGÍA DE USO:	83
5.3 ENERGÍA TOTAL:	83
5.4 ENERGÍA TOTAL POR KILÓMETRO RECORRIDO:	84
6. CONCLUSIONES:	86
7. REFERENCIAS:	88
8. ANEXOS:	91
8.1 ANEXO 1. CATEGORÍAS DE VEHÍCULOS SEGÚN DIRECTIVA 2007/46/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO:	91
8.2 ANEXO 2. HOJAS DE CÁLCULO DE VEHÍCULOS:	93
8.2.1 HOJA DEL VEHÍCULO DE GASOLINA:	93
8.2.2 HOJA DEL VEHÍCULO DE DIÉSEL:	94
8.2.3 HOJA DEL VEHÍCULO DE HIDRÓGENO:	95
8.2.4 HOJA DEL VEHÍCULO HÍBRIDO NO ENCHUFABLE:	96
8.2.5 HOJA DEL VEHÍCULO HÍBRIDO ENCHUFABLE:	97
8.2.6 HOJA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO:	98
8.2.7 HOJA DEL VEHÍCULO DE GLP:	99
8.2.8 HOJA DEL VEHÍCULO DE GAS NATURAL:	100
8.2.9 HOJA DEL VEHÍCULO DE BIODIÉSEL:	101
8.2.10 HOJA DEL VEHÍCULO DE ETANOL:	102



LISTA DE FIGURAS:

Figura 1. Arquitectura del vehículo de gasolina. Fuente [4]	11
Figura 2. Ciclo Otto teórico y real. Fuente [24]	12
Figura 3. Arquitectura de un vehículo diésel. Fuente [4]	13
Figura 4. Ciclo diésel teórico y real. Fuente [24]	13
Figura 5. Arquitectura del vehículo híbrido enchufable. Fuente [4]	14
Figura 6. Arquitectura del vehículo eléctrico. Fuente [4]	16
Figura 7. Arquitectura de un vehículo de pila de combustible.	21
Figura 8. Esquema de una pila de combustible. Fuente [27]	22
Figura 9. Esquema de análisis del ciclo de vida del vehículo y combustible.	27
Figura 10. Ciclo de vida del vehículo. Fuente [4]	28
Figura 11. Esquema producción de acero. Fuente [2]	31
Figura 12. Esquema de fabricación de aluminio forjado. Fuente [2]	33
Figura 13. Esquema de fabricación de fundición de aluminio. Fuente [2]	34
Figura 14. Cadena de montaje de un automóvil. Fuente [apuntes de automóviles]	41
Figura 15. Esquema de los pasos de procesamiento del petróleo (ejemplo de gasolina). Fuente [46]	46
Figura 16. Mix de generación eléctrica española. Fuente [38]	49
Figura 17. Proceso de obtención del GLP	50
Figura 18. Esquema y pasos para la obtención del GNC. Fuente [46]	51
Figura 19. Esquema proceso de refinado de aceite. Fuente [42]	52
Figura 20. Reacción de transesterificación. Fuente [36]	52
Figura 21. Esquema de obtención del biodiésel.	53
Figura 22. Esquema de obtención del etanol	55
Figura 23. Comparativa de energía de fabricación.	82
Figura 24. Comparativa de energía de uso	83
Figura 25. Comparativa de energía total	84
Figura 26. Comparativa de energía total por kilómetro recorrido	85



LISTA DE TABLAS:

Tabla 1. Resumen tipos de pilas de combustible. Fuente [2]	23
Tabla 2. Energía de fabricación vehículo de gasolina.....	57
Tabla 3. Energía para la producción de los componentes de un vehículo de gasolina.....	57
Tabla 4. Datos de la gasolina.	57
Tabla 5. Datos de energía primaria de fabricación de la gasolina.	58
Tabla 6. Consumo de vehículos de gasolina.....	58
Tabla 7. Vida útil del vehículo de gasolina.	58
Tabla 8. Resumen de resultados para un vehículo de gasolina.	59
Tabla 9. Energía de fabricación vehículo diésel	59
Tabla 10. Energía para la producción de las partes de un vehículo diésel.....	60
Tabla 11. Datos del diésel.....	60
Tabla 12. Datos de energía primaria de fabricación del diésel.	60
Tabla 13. Consumo del vehículo diésel	61
Tabla 14. Vida útil vehículo diésel.	61
Tabla 15. Resumen de resultados para un vehículo diésel	61
Tabla 16. Energía de fabricación vehículo de pila de combustible	62
Tabla 17. Energía para la producción de las partes de un vehículo de hidrógeno.	62
Tabla 18. Datos del hidrógeno	63
Tabla 19. Datos de energía primaria de fabricación de hidrógeno gasificado.....	63
Tabla 20. Datos de energía primaria de fabricación de hidrógeno licuado.	63
Tabla 21. Consumo vehículo de hidrógeno.....	64
Tabla 22. Vida útil de un vehículo de hidrógeno.....	64
Tabla 23. Resumen de resultados para un vehículo de hidrógeno.....	65
Tabla 24. Energía de fabricación de HEV.....	65
Tabla 25. Energía para la producción de los componentes del HEV	66
Tabla 26. Consumos HEV.....	66
Tabla 27. Vida útil HEV.	66
Tabla 28. Resumen de resultados para un vehículo híbrido no enchufable (HEV).	67
Tabla 29. Energía de producción del PHEV.	67
Tabla 30. Energía de producción por partes del PHEV.....	68
Tabla 31. Energía primaria de generación eléctrica según mix europeo.....	68
Tabla 32. Consumos PHEV.....	69
Tabla 33. Vida útil PHEV.	69
Tabla 34. Resumen de resultados para un vehículo híbrido enchufable	69



Tabla 35. Energía de fabricación del vehículo eléctrico	70
Tabla 36. Reparto de energía por componentes del vehículo eléctrico.	70
Tabla 37. Consumo vehículo eléctrico. Fuente [16]	71
Tabla 38. Vida útil de un vehículo eléctrico.	71
Tabla 39. Resumen de vehículo eléctrico.....	72
Tabla 40. Energía de fabricación vehículo de GLP.....	72
Tabla 41. Energía de fabricación de las partes de un vehículo de GLP.	72
Tabla 42. Datos del Gas Licuado de Petróleo.	73
Tabla 43. Energía primaria para la producción de GLP.	73
Tabla 44. Consumo vehículo de GLP.	74
Tabla 45. Vida útil de un vehículo de GLP.	74
Tabla 46. Resumen vehículo de GLP.	74
Tabla 47. Energía de fabricación vehículo de GNC.....	75
Tabla 48. Energía de fabricación de los componentes del vehículo de GNC.	75
Tabla 49. Datos del gas natural.	75
Tabla 50. Consumo vehículo de GNC.	76
Tabla 51. Vida útil de un vehículo de GNC.	76
Tabla 52. Resumen del vehículo de GNC.....	76
Tabla 53. Energía de fabricación de un vehículo biodiésel.	77
Tabla 54. Energía de fabricación de los componentes de un vehículo de biodiésel.....	77
Tabla 55. Datos del biodiésel.	77
Tabla 56. Energía de fabricación del biodiésel.....	78
Tabla 57. Vida útil de un vehículo de biodiésel.....	78
Tabla 58. Resumen vehículo de biodiésel.	79
Tabla 59. Energía de fabricación de un vehículo de Etanol.	79
Tabla 60. Energía por componentes de un vehículo de Etanol.....	79
Tabla 61. Datos del Etanol.....	80
Tabla 62. Energía primaria para la producción de Etanol.	80
Tabla 63. Consumo vehículo de etanol.	80
Tabla 64. Vida útil de un vehículo de etanol.	81
Tabla 65. Resumen vehículo de etanol.	81



1. INTRODUCCIÓN:

1.1 ANTECEDENTES:

En el origen de la automoción a finales del siglo XIX [20], los motores y la variabilidad de la tecnología de los automóviles era escasa, por no decir casi nula, los únicos motores existentes eran el motor convencional de combustión interna (motor de ciclo Otto) y el motor de combustión externa, o máquina de vapor. Las diferencias entre ambos consisten en que, como su nombre indica, la máquina de vapor produce la combustión del propio fuel o combustible de manera externa, calentado el agua que producirá la fuerza motriz, mientras que el motor de combustión interna produce la combustión en el interior de los cilindros provocando el movimiento alternativo de los pistones. En los primeros años, los avances en los motores de vapor al haber sido usados en locomotoras mucho antes daban una cierta ventaja y una mayor eficiencia respecto a la combustión interna.

Poco a poco, se fueron incorporando nuevas tecnologías y funcionamientos de los vehículos, por ejemplo, se incorporaron los vehículos diésel a manos de Rudolf Diesel en el 1892 [21], estos conseguían un rendimiento mayor que los motores de ciclo Otto imitando su comportamiento ya que el primer motor diésel presentado consiguió un rendimiento del 26,2% [21].

También se introdujeron variaciones en los motores de combustión de gasolina que contribuían al ahorro de combustible, tales como, el primer compresor centrífugo por Louis Renault en 1902 [21] para la sobrealimentación de los motores o el turbocompresor accionado por los gases de escape patentado por Alfred Büchi en 1905 [21] que aumentaba el rendimiento de los motores de combustión.

El mayor avance en materia sostenible para el ahorro de combustible se produjo en 1925 [21] cuando Jonas Hesselman presentó el primer motor de gasolina con inyección directa, a pesar de esto, no fue hasta 1952 [21] cuando Bosch empezó a fabricar los sistemas de inyección directa para aplicación en serie.

Posteriormente se fueron introduciendo las normativas europeas sobre la emisión de gases, gracias a las cuales se desarrollaron sistemas de catalización de gases de forma que se fueron reduciendo las emisiones de gases contaminantes emitidos por los vehículos.

La creciente demanda en la sociedad actual del uso de vehículos privados ha motivado la búsqueda de nuevas alternativas a los motores de combustión de toda la vida. Con los problemas de gasto de los combustibles fósiles del planeta y la contaminación existente en las grandes poblaciones, se han ido investigando posibles fuentes de energía alternativas y desarrollando tecnologías más sostenibles desde el punto de vista medioambiental.

Se estima que el tiempo restante de las reservas de petróleo va de los 40 a los 65 años [20] lo que implica que mucho antes, el encarecimiento de los combustibles fósiles será tal que se harán inaccesibles para la gran mayoría. Hoy en día ya comienzan a usarse diversas alternativas como los coches de gas, que sólo requieren de una pequeña adaptación de los vehículos de combustión convencionales, o los biocombustibles que son una fuente renovable de combustible líquido en sustitución de los combustibles fósiles.

En 1832, en París [23] se mostró el primer motor eléctrico operativo, posteriormente, en 1835 [23] se dio a conocer al mundo un segundo motor más pequeño, en Londres por Francis Watkins. Gracias a esto en 1835 [23] el profesor Stratingh en Holanda consiguió montar un pequeño modelo de vehículo que funcionase con una pila. A pesar de esta y otras pequeñas



demostraciones no fue hasta 1859 [23] cuando se vio una posible aplicación real de la propulsión eléctrica para los vehículos. Su llegada a la automoción no se produjo hasta 1873 [23] cuando R. Davidson en Edimburgo mostró un vehículo propulsado por electricidad. A pesar de todo, debido a la problemática (todavía presente) de la duración de las baterías y la duración de la recarga de las mismas, la electricidad no era una opción realmente viable en el uso del transporte privado. Fue a partir de 1960 [23] cuando surgió un nuevo interés en el uso de los motores eléctricos y se volvió a la investigación de los mismos. Se comenzaron a encontrar soluciones, lo que conllevó que se planteara como una alternativa realmente viable para la sustitución de los vehículos convencionales de combustión. Gracias a esto, se empezaron a desarrollar vehículos híbridos y eléctricos de distintas modalidades según materiales y forma de las baterías y el uso de las mismas. A partir de 1990 [23] se incrementó la producción de los vehículos eléctricos debido a las nuevas tecnologías diseñadas para mejorar el rendimiento y la vida útil, por la cual, se convirtieron en una opción realmente interesante para producir en serie y ofrecerlos de venta al público.

De forma paralela, se fue investigando el uso de combustibles alternativos, más limpios con el medio ambiente, como los ya mencionados, gases (Gas Natural y GLP) y biocombustibles.

También se han ido desarrollando vehículos de hidrógeno tanto por pila de combustible como por detonación del hidrógeno, que son totalmente limpios con el medio ambiente ya que, en vez de gases contaminantes, sus únicas emisiones consisten en vapor de agua debido a la reacción del propio hidrógeno con los átomos de oxígeno del ambiente y formando moléculas de agua. Esta es una tecnología, que aún a día de hoy, permanece en un estado muy temprano de desarrollo, por lo que, aunque ya se ha comenzado a comercializar, todavía dista de ser una opción realmente viable, debido a sus altos costes de fabricación y a la dificultad de obtención del hidrógeno.

En la actualidad la versatilidad de las tecnologías usadas en el transporte de personas u objetos es muy abundante, debido a esto se hace realmente difícil encontrar la mejor solución a la hora de decantarse por una, ya que todas tienen sus ventajas y desventajas.

Algunas de estas tecnologías, se encuentran en un estado, todavía de investigación y por lo tanto la fabricación y utilización por partes de las marcas y los fabricantes es muy escasa. A raíz de esto, dichas tecnologías no se encuentran como opciones realmente viables a día de hoy, ya que el uso de las mismas sería muy complicado (por ejemplo, la recarga de una pila de hidrógeno sin la existencia de hidrogeneras), a pesar de esto, conviene evaluarlas adecuadamente ya que posiblemente sean la opción más aceptada en el futuro cuando los fabricantes las distribuyan y hayan comprobado su mayor eficiencia respecto a los vehículos convencionales.

1.2 OBJETO:

En este trabajo, se va a intentar dar una respuesta a la pregunta que nos surge:

“¿Cuál es la tecnología más sostenible desde el punto de vista medioambiental?”

La respuesta a esta pregunta es realmente difícil, ya que, como se ha dicho antes, todas tienen sus ventajas y desventajas, algunas son más limpias y generan menos gases contaminantes, otras son de difícil fabricación, etc. En este caso, se enfocará la problemática desde el punto de vista de la energía, para obtener el menor consumo energético de un vehículo por cada kilómetro que recorra el mismo.



Para ello, se analizará el consumo de energía primaria de cada una de ellas durante toda su vida útil.

Esto se dividirá en dos apartados, en primer lugar, se realizará el análisis del ciclo de vida (ACV) del vehículo llevando a cabo el método conocido como “cradle to grave”, en español, “de la cuna a la tumba”, de forma que se pueda obtener el consumo energético en todas sus fases constructivas, ya que para cada tecnología puede haber grandes variaciones debido a las diferentes arquitecturas de las mismas, a los procesos de fabricación, a la masificación en las ventas de los mismos, que provocará una construcción más simplificada y avanzada, y a los materiales requeridos para cada componente del vehículo.

Después, se calculará el consumo durante toda su vida útil, teniendo en cuenta el ciclo de vida del combustible y la energía consumida durante el mismo, llevando a cabo el método conocido como “well-to-wheel”, o, en español, “del pozo a las ruedas”.

Con esto se pretende dar una solución para la tecnología más eficiente en la actualidad y ofrecer un punto de vista sostenible de cara a un futuro sin combustibles fósiles. Además, se demostrará que los vehículos de “emisiones cero”, los vehículos eléctricos, no cumplen con ello al 100%, ya que para producir la electricidad de las recargas se producen emisiones de diversa índole. Si bien es cierto, el vehículo en sí no emitirá emisiones de ningún tipo por lo que al menos alejaríamos la contaminación de los núcleos urbanos.

Para ello, se emplearán datos obtenidos de otros estudios, obtenidos a su vez de las distintas bases de datos existentes, de forma que se obtenga la energía de producción del vehículo, para el caso de un vehículo genérico de tamaño medio, la energía de producción del combustible o de la fuente de energía que usará el vehículo para desarrollar su propio movimiento y del gasto durante el uso del mismo. En el caso de la electricidad se basará en un reparto de la producción eléctrica, según el mix español de producción entre todas las fuentes posibles utilizadas (nuclear, térmica no renovables, solar, etc.).

Aparte, en otros casos como es el de los biocombustibles, cuyo origen es de origen desconocido como distintas fuentes vegetales o incluso de animales, se realizará una mezcla entre las más usadas y la energía empleada para cada caso.

Después se calculará el consumo de energía primaria de cada tecnología a razón de cada kilómetro recorrido según la vida útil media de cada una de ellas.

Una vez hecho esto, se realizará la comparativa entre las tecnologías de forma que podamos obtener la de menor consumo energético y, por tanto, la más eficiente desde el punto de vista energético, lo que está directamente relacionado con la emisión de gases a la atmósfera, y el consumo de recursos naturales.



2. DESCRIPCIÓN DE TECNOLOGÍAS A EXAMINAR:

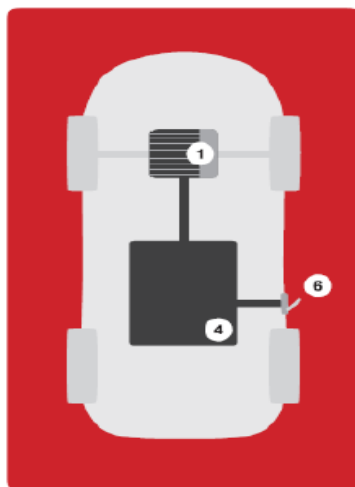
2.1 GASOLINA:

El vehículo de gasolina es el más convencional junto con el diésel. Su funcionamiento se basa en un motor de combustión interna de movimiento alternativo, por norma general en la automoción, de cuatro tiempos. Existen también motores de dos tiempos, pero estos, es más usual verlos en otros campos como en motocicletas de pequeña cilindrada, barcos, etc.

Este funciona comprimiendo una cantidad de aire dentro del cilindro (tramo 1-2, figura 2), después, los inyectores introducen una pequeña cantidad de combustible. Con el combustible ya dentro mezclado con el aire y una vez comprimido, se provoca la detonación mediante una chispa producida por las bujías (tramos 2-3 inicio de explosión a volumen cte.), lo que provoca la expansión instantánea de la mezcla y mueve de nuevo el pistón hacia el punto muerto inferior (tramo 3-4 expansión de la explosión). Por último, el pistón vuelve al punto muerto superior evacuando así los gases de escape y regresa al punto muerto inferior admitiendo de nuevo aire limpio (renovación del aire conocido como bombeo).

La principal ventaja de un vehículo convencional de gasolina reside en el tiempo de recarga. Los coches eléctricos tienen que esperar durante horas para poder recargar sus baterías al completo mientras que para el coche de gasolina hacen falta sólo unos minutos para el llenado del depósito.

**Conventional petrol
engine vehicle**



- 1. Motor de combustión.
- 4. Depósito de combustible.
- 6. Boca del depósito.

Figura 1. Arquitectura del vehículo de gasolina. Fuente [4]

Los vehículos convencionales con motor de combustión requieren de caja de cambios y diferencial para optimizar su velocidad de funcionamiento de forma que siempre se encuentre en torno a un punto óptimo de rendimiento. Debido a estos dos componentes, las pérdidas de rendimiento de estos vehículos son considerables, por lo que el rendimiento total se ve notablemente disminuido. Además, los gases de escape salen a elevadas temperaturas y con gran energía cinética por lo que aumentan dichas pérdidas y disminuye el rendimiento. En el caso de las pérdidas de calor por el escape, se trabaja para minimizarlas en la medida de lo posible, incluyendo sistemas de recuperación como el turbocompresor.



A todo esto, habría que añadirle las pérdidas por rozamiento en los cilindros, posibles defectos de sellado de la cámara y pérdidas por el bombeo de aire para la admisión y el escape. Debido a ello existen suficientes irreversibilidades como para que el rendimiento de los motores de combustión no sea superior al 55% [21] de la energía del combustible, el cual sólo se cumple en los mejores casos, estando de forma general muy por debajo de esta cifra. Aun así, esta es una cifra relativamente pequeña si se compara con el rendimiento de un motor eléctrico, aunque si se tiene en cuenta las limitaciones termodinámicas, es suficiente, más aún si comparamos con el rendimiento de una turbina de gas. Una de las ventajas de estos motores es que son poco sensibles a variaciones en su rendimiento por variaciones de la carga o del régimen de giro.

Además, si juntamos esa cifra con todas las pérdidas mecánicas presentes en rodamientos y transmisiones y demás sistemas del vehículo, el rendimiento del vehículo es más bajo todavía. Aun así, gracias al elevado poder calorífico por volumen de combustible la autonomía servida por un combustible en estado líquido es muy elevada y nos permite recorrer largas distancias sin repostaje.

Se puede ver en la figura 2 el ciclo teórico y real de un motor de combustión de gasolina, en el que se representan las irreversibilidades del ciclo.

Actualmente en España los vehículos (turismos) de gasolina son casi el 43% del total [47], esto significa que sólo en España circulan casi 10 millones de vehículos de gasolina.

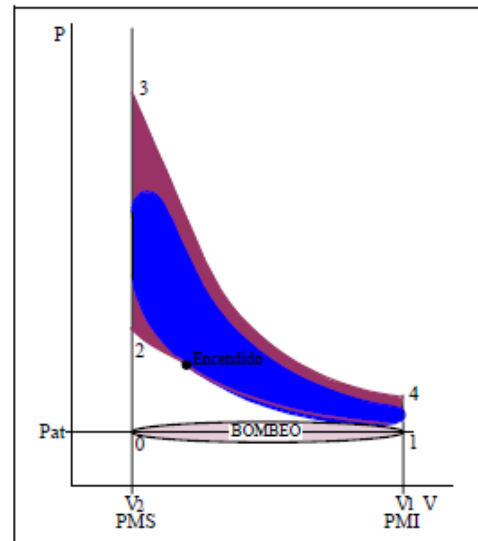


Figura 2. Ciclo Otto teórico y real. Fuente [24]

2.2 DIÉSEL:

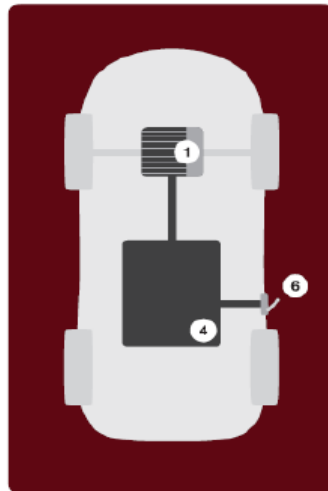
A día de hoy, la mayor parte de los vehículos están formados por un motor de combustión interna de diésel ya que casi alcanzan el 57% [47] de los vehículos totales en España, lo que implica que son más de 13 millones los vehículos diésel matriculados. Esta diferencia respecto a los vehículos de gasolina se debe a un menor consumo de combustible y al precio más asequible del mismo. Aun así, los motores diésel tienen los mismos problemas de rendimiento que los de gasolina, por lo que el rendimiento del motor nunca supera el 55% [21] con la diferencia de una mayor emisión de gases nocivos y de un funcionamiento un poco más débil. Sumado a las pérdidas mecánicas en rodamientos y cadenas de transmisión, implica que el rendimiento de un vehículo diésel tampoco es muy elevado, pero si tiende a ser un poco mayor que los vehículos de gasolina, ya que consume menos combustible y, por ende, menos energía.

En el caso de los motores diésel, la mezcla entre oxígeno y combustible arde mediante la propia compresión de la misma debido a la volatilidad del gasoil, y por ello, no necesita una chispa que produzca la explosión así que no requiere de bujías.

Por lo demás, el proceso de construcción de un vehículo diésel es muy similar al proceso de un vehículo de gasolina. Salvo diferencias respecto al uso de determinados materiales por las diferencias existentes entre los combustibles y las características energéticas de estos.



Conventional diesel engine vehicle



1. Motor de combustión.
4. Depósito de combustible.
6. Boca del depósito.

Figura 3. Arquitectura de un vehículo diésel. Fuente [4]

El rendimiento de los vehículos diésel es muy similar al de los de gasolina debido a que el funcionamiento es igual y las pérdidas son producidas por los mismos elementos, transmisión, calor desaprovechado en los gases de escape y los problemas de rozamiento de otros sistemas mecánicos.

Aun así, el ciclo de trabajo de un vehículo diésel es ligeramente diferente ya que dispone de un tramo de presión constante, como se muestra en la siguiente imagen. En esta imagen se pueden ver las diferencias entre el ciclo real, atendiendo a todas sus pérdidas, y el ciclo ideal, en el cual todos los procesos son irreversibles.

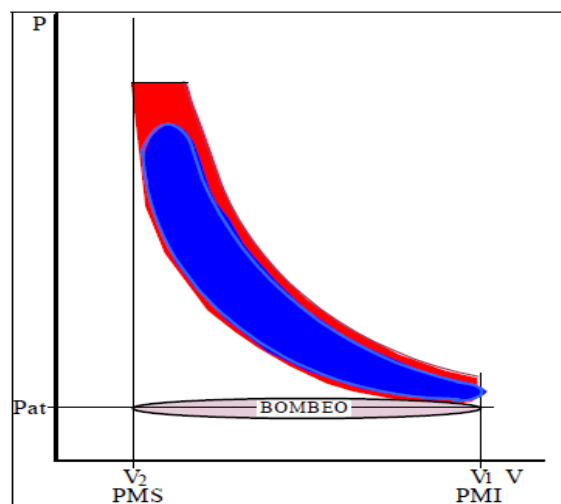


Figura 4. Ciclo diésel teórico y real. Fuente [24]

2.3 HÍBRIDO:

La tecnología híbrida es una tecnología basada en el uso de dos motores como medio de propulsión. Esta tecnología consta de un motor eléctrico, el cual, según lo modelos de automóviles híbridos, podrá emplearse de una manera u otra, y el motor de combustión, el cual transmitirá la mayor parte de la potencia del automóvil.

La principal causa de ahorro en este tipo de tecnología se basa en el consumo intraurbano, ya que el apoyo del motor eléctrico o incluso la capacidad del automóvil para funcionar en modo puramente eléctrico, ofrece un mayor ahorro de combustible y por ende una bajada en la emisión de gases de efecto invernadero como el CO_2 , que son inferiores a las tecnologías convencionales, u otros gases contaminantes, como es el caso del NO_x o pequeñas partículas.

Las ventajas de los vehículos híbridos se resumen en, el menor consumo de combustible al poder reducir el tamaño del motor de combustión y optimizar su uso, ya que no requerirá los grandes esfuerzos puntuales que requiere la tecnología tradicional para las aceleraciones, esfuerzo para el que el motor ha de estar preparado, pero que sin embargo luego quedará desaprovechado, e

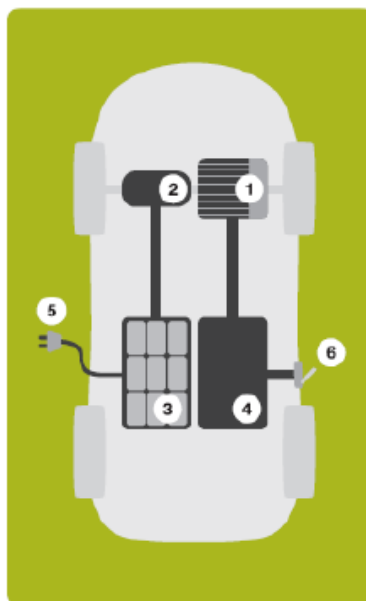


incluso otra ventaja será el silencio con el que pueden circular por ciudad al tener el motor de combustible apagado (si esto fuera posible según vehículo) y circular sólo en modo eléctrico.

Para el funcionamiento del motor eléctrico, se dispone de un sistema de baterías. Según el funcionamiento de este motor y la recarga de dichas baterías se puede diferenciar entre distintas tecnologías híbridas que se describirán a continuación.

En la figura 3 se puede ver la arquitectura de un vehículo híbrido, concretamente el enchufable. A pesar de tratarse de un híbrido enchufable, constructivamente, cualquier otro, constaría de los mismos componentes, salvando las diferencias en tamaños y uso de los mismos.

Plug-in hybrid electric vehicle (PHEV)



1. Motor de combustión.
2. Motor eléctrico.
3. Paquete de baterías.
4. Depósito de combustible.
5. Enchufe eléctrico.
6. Boca del depósito.

Figura 5. Arquitectura del vehículo híbrido enchufable. Fuente [4]

2.3.1 SEMIHÍBRIDO (MILD HYBRID):

Es una tecnología basada en el uso del motor eléctrico únicamente para el apoyo del motor de combustión en las puntas de máximo esfuerzo, tales como aceleraciones fuertes (desde el reposo) o subida de pendientes inclinadas.

La recarga de estas baterías se suele producir mediante métodos de recarga automáticas, empleando la energía cinética del propio vehículo en retenciones para los descensos y frenadas. Se consigue gracias al denominado freno regenerativo o KERS (Kinetic energy recovery system). El funcionamiento de este se basa en la capacidad de un motor eléctrico de ser usado también como generador mediante el empleo de un inversor incorporado. Al conectar el motor en modo generador, este retiene el vehículo mediante la transformación de la energía cinética que contiene, en energía eléctrica, de forma que recarga las baterías a la par que provoca el frenado del vehículo. La capacidad de frenada es tal, que empresas del sector están estableciendo como frenada casi única la producida por el motor eléctrico, sobre todo para vehículos puramente eléctricos, usando un sistema de frenos convencional únicamente para emergencias o la detención total del vehículo.



También se está intentando implementar, para vehículos híbridos, el HERS (Heat energy recovery system) todavía usado exclusivamente en las competiciones. Consiste en el uso de un motor eléctrico como ayuda al giro del turbocompresor incorporado en motores de combustión que además de generar energía eléctrica, contribuya a un mejor rendimiento del propio turbocompresor. Gracias al motor y a un inversor incorporado, el momento en que el turbocompresor gire a mayor velocidad de la necesaria, se aprovechará dicha velocidad para crear energía eléctrica y recargar las baterías. Evidentemente la energía cinética almacenada en el vehículo, debido a su masa y su velocidad, es mucho mayor que la energía almacenada en los gases de escape, por lo que la recuperación será mucho más notable.

2.3.2 HÍBRIDO PURO (FULL HYBRID):

Tienen la misma capacidad de funcionar como apoyo al motor de combustión para sus picos de máximo esfuerzo al igual que el vehículo semihíbrido con el añadido de la capacidad de funcionar en modo puramente eléctrico. De este modo lo que se consigue es tener apagado el motor de combustión en los recorridos de ciudad ya que es donde se producen los mayores consumos debido a las paradas y aceleraciones. Este modo funciona siempre que el vehículo este a unas velocidades por debajo de la máxima establecida por fabricante. Se activa, o bien de forma automática al superar dicha velocidad, o de forma manual por el piloto, según haya establecido el fabricante.

2.3.3 HÍBRIDO ENCHUFABLE (PHEV):

Son vehículos que cumplen con los funcionamientos de los anteriores, ayudan al motor de combustión en puntos de máximo esfuerzo e incluso permite circular en modo puramente eléctrico para funcionamientos a bajas velocidades.

La diferencia de esta tecnología es que la recarga de las baterías no se hace mediante el aprovechamiento de la energía cinética si no que se produce directamente a través de la red eléctrica.

Esto se traduce en la ventaja de una mejora de la autonomía eléctrica ya que siempre que se hayan recargado se podrá disponer de unas baterías al 100% de su capacidad, lo que facilita su uso de manera puramente eléctrico.

Como desventaja implica la no recarga de estas baterías con el funcionamiento propio del vehículo, que conlleva el respectivo aumento brusco del consumo de combustible en caso de que se acaben las baterías. Algunos fabricantes están incorporando la capacidad de aprovechamiento de la energía cinética, aunque no termina de ser suficiente para la recarga total del vehículo.

2.4 ELÉCTRICO:

Un vehículo eléctrico es aquel que consta únicamente de un motor eléctrico para su funcionamiento. Esta tecnología no produce un consumo directo de combustible por lo que su producción de emisiones es inexistente. Más adelante, se demostrará que no es del todo exacto, debido al origen de la electricidad usada como energía de funcionamiento para el motor.

La arquitectura del funcionamiento de un vehículo eléctrico es más básica, al no tener esta la compleja transmisión de la que disponen los vehículos convencionales. Debido al funcionamiento de los motores eléctricos, no requieren de marchas (juego de engranajes) que varíen la frecuencia de giro y las revoluciones del motor para mantenerle en su punto de



rendimiento óptimo. Podría decirse que los vehículos eléctricos circulan siempre en una misma marcha. Sin embargo, si disponen del elemento diferencial que varíe la velocidad de rotación entre las ruedas al circular en curva.

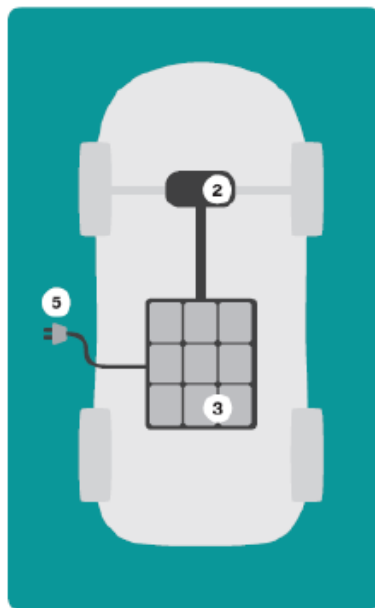
Gracias a esto, el vehículo eléctrico no tiene todas las pérdidas de rendimiento que sí se encuentran en un vehículo convencional, ya que, debido al rozamiento entre engranajes, el rendimiento entre estos se encuentra entre el 90% y el 96% según sea la calidad de fabricación del dentado [22], que multiplicados en toda la línea de transmisión se traducen en pérdidas importantes de rendimiento.

Además, el alto rendimiento con el que cuentan los motores eléctricos, dota de un rendimiento total para los vehículos eléctricos mayor que cualquier vehículo convencional.

El funcionamiento del motor eléctrico se basa en la transformación de la energía eléctrica almacenada en las baterías en energía mecánica a través de la rotación de su eje, posibilitando así el movimiento del vehículo.

En la figura 4 se muestra un esquema del vehículo eléctrico y sus principales componentes. Dicho esquema muestra cómo, constructivamente, el vehículo es equivalente al vehículo híbrido salvo la parte del motor de combustión. Para posibilitar un funcionamiento adecuado a las necesidades actuales, los componentes del vehículo eléctrico son de mayor tamaño y potencia, ofreciendo así un único servicio de funcionamiento eléctrico.

Battery electric vehicle (BEV)



- 2. Motor eléctrico.
- 3. Paquete de baterías.
- 5. Enchufe eléctrico.

Figura 6. Arquitectura del vehículo eléctrico. Fuente [4]

Existen infinidad de investigaciones con el objetivo de mejorar las baterías, ya que, a día de hoy, el principal problema de los vehículos eléctricos proviene de la autonomía de las mismas aparte de los problemas de vida útil y de recarga. También es conveniente investigar las baterías de forma que podamos obtener el mayor rendimiento bajo condiciones extremas de su funcionamiento y su durabilidad en entornos más dañinos.



Esto, en parte se debe a que la mayor pega de la fabricación de los vehículos eléctricos es, como se verá posteriormente, la compleja producción de las baterías.

Las baterías de los vehículos eléctricos están hechas de iones de litio, pero dependiendo del material del cátodo pueden ser de distintos tipos.

Existen baterías de LiMn_2O_4 (LMO) [18], que es considerada la mejor opción a día de hoy por su baja toxicidad, al ser un elemento afín a la naturaleza, y por su alto rendimiento. También posee gran estabilidad térmica ya que es capaz de mantener una capacidad de carga de al menos el 85% después de 100 ciclos de carga y de estar sometido a una temperatura de 60° [19]. Por último, el cátodo de manganeso también tiene bajo coste de fabricación debido a su alto contenido en la naturaleza.

También existen las baterías de LiFePO_4 (LFP) [18], batería de litio-ferrofosfato, que están provistas de una gran potencia y durabilidad, aunque son más tóxicas y menos estables que las anteriores.

Por último, también existen baterías de $\text{Li}(\text{NiCoAl})\text{O}_2$ y $\text{Li}(\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z)\text{O}_2$ (conocidas como NCM) [18], donde x, y, z denotan distintas posibilidades. Son baterías con celdas de 3 elementos que rinden mejor que las celdas con únicamente óxido de cobalto. No tienen un gran compromiso con la capacidad de almacenamiento (aunque no es muy elevada) y tienen un gran voltaje, además, son de bajo coste de fabricación.

La principal ventaja de los vehículos eléctricos es que, al funcionar con energía eléctrica, son vehículos que no producen emisiones por lo que no contaminan. Como también se ha mencionado antes, el rendimiento de los motores eléctricos es mayor debido a las pequeñas pérdidas por calor, que si son de gran importancia en los motores de combustión y cuyo aprovechamiento se está investigando para reducirlas al máximo posible, dentro de las limitaciones termodinámicas. Aparte, el motor de combustión es muy ruidoso al tener que lidiar con las explosiones internas en los cilindros, en el caso del motor eléctrico el ruido de su funcionamiento es muy escaso, lo que se traduce en un vehículo más silencioso.

Si a todo esto le añadimos la posibilidad de obtener la energía eléctrica de fuentes de energía renovable como puede ser la eólica o la solar, vemos que se podría obtener un vehículo mucho más limpio de emisiones y más rentable energéticamente que uno convencional. A pesar de eso, las fuentes de energía renovable a día de hoy siguen siendo muy escasas por lo que no podemos abastecernos de la red eléctrica sin el uso de energías como la nuclear o las centrales térmicas. Además, el mayor requerimiento y el aumento de uso que se hace de la energía eléctrica obliga a aumentar la producción de dichas centrales.

Algunos vehículos eléctricos son capaces de recargar parte de la capacidad de sus baterías gracias a los sistemas de recuperación de energía cinética (KERS), lo que les dota de una mayor autonomía. En las retenciones en caso de bajadas prolongadas o en las frenadas del vehículo, el motor eléctrico funciona como generador produciendo energía eléctrica y recargando las baterías. Esto disminuye, aunque en pequeña medida, la demanda eléctrica y aumenta un poco la autonomía de las baterías.

2.5 GAS NATURAL:

La obligatoriedad de la búsqueda de nuevas alternativas, combinada con la sostenibilidad medioambiental y limpieza proveniente del gas natural al producir menos gases de efecto invernadero durante su quema respecto al diésel o la gasolina, produjo que se investigara la



forma de introducir el gas natural como combustible fósil para el uso en aplicaciones automotrices.

Las reducciones de emisiones se sitúan entre un 10% y un 30% para el CO_2 , más de un 85% para NO_x , las de CO en un 25% y de SO_2 ni siquiera emite partículas por ser un combustible no sulfurado. [25]

Compuesto principalmente de metano, es el combustible de origen fósil más limpio y que menos contamina, aunque bien es cierto que su composición cambia según sea su yacimiento de proveniencia.

El problema del uso de gas natural reside en su almacenaje y distribución. Para almacenarlo en el vehículo se precisa de un depósito especial, ya que el gas natural se encuentra en estado gaseoso a condiciones atmosféricas, la densidad de éste es muy baja por lo que el calor específico por unidad de volumen también.

Por ello su aplicación en usos automotrices se da en dos formas distintas en función del estado de uso del gas.

2.5.1 GAS NATURAL COMPRIMIDO (GNC)

El gas natural se comprime a altas presiones entre 200 y 220 bares [25], debido a esto, los depósitos destinados a su almacenamiento deben estar preparados para soportar las fuerzas y esfuerzos originados en su interior, por lo que también, aporta un mayor peso al vehículo. Así conseguimos que el gas natural disminuya de volumen y aumente su densidad para que el poder calorífico por unidad de volumen sea más elevado. El gas natural comprimido es la forma de almacenamiento más usada de este combustible en la industria de la automoción.

La recarga se realiza de forma convencional en una gasolinera que disponga de GNC. Esta recarga se efectúa de forma rápida por diferencia de presiones entre el depósito de almacenamiento de la gasolinera y el depósito del vehículo. Se realiza en un tiempo de unos tres minutos de forma similar a la recarga de diésel o gasolina.

También es posible repostar de forma que se comprima el gas a medida que se va repostando. Esto está más indicado para el repostaje de grandes flotas durante un largo periodo de estacionamiento. En ambos casos, el repostaje llega a ser completo.

2.5.2 GAS NATURAL LICUADO (GNL)

El gas natural se enfría a -162°C [25] y se mantiene a un bar de presión para tenerlo en estado líquido para su almacenamiento. Es una forma menos común de ver debido a la ineficiencia intrínseca de alcanzar y mantener temperaturas tan bajas, mientras que alcanzar y mantener altas presiones no suele suponer tanta dificultad.

El funcionamiento y la disposición constructiva de un vehículo de gas natural es similar al de cualquier vehículo de gasolina ya que tienen las mismas prestaciones y características. Es más, actualmente los vehículos de gas natural tienden a ser vehículos bi-fuel, es decir, poseen dos depósitos de combustible en su interior, dos bocas de recarga de combustible e incluso dos circuitos de circulación para la inyección de combustible, para el funcionamiento del vehículo con cualquiera de ellos.

Esto se debe a que muchos de los vehículos de gas natural son vehículos de gasolina en su origen, que se han modificado levemente en un taller homologado para poder funcionar con gas natural



cuando el conductor lo requiera, de forma que, mientras tenga el depósito lleno, pueda ser más respetuoso y limpio con el medio ambiente. También, al poder ser más complicado encontrar gasolineras que surtan de gas natural a un vehículo, el segundo depósito de gasolina te permite seguir circulando mientras que el conductor encuentre una gasolinera apta para la recarga de gas.

Para esta reconversión de los vehículos de forma que se alimenten con gas natural, es posible que determinadas piezas deban ser sustituidas, ya que el uso de gas natural es incompatible con materiales como el hierro fundido, el aluminio galvanizado o las aleaciones de cobre superiores al 70%.

Como ya se ha mencionado, la principal ventaja del uso de gas natural es la reducción de emisiones por ser el combustible fósil más limpio. Aparte de esta ventaja, existen otras como la reducción del ruido del motor hasta en un 50% [25] gracias a unas explosiones más suaves y, por ende, una reducción de las vibraciones. El motor tiende a tener una vida útil mayor al ser un combustible más limpio, su precio es inferior y en el caso de usar GNC es de mayor seguridad que los combustibles líquidos.

2.6 GLP (GAS LICUADO DE PETRÓLEO):

El GLP o gases licuados del petróleo surgen a raíz de los gases que se producen durante el refinado del petróleo para la obtención de la gasolina o el diésel, aunque también puede obtenerse mediante la purificación del gas natural durante su extracción. En resumen, son unos gases condensables que se encuentran en el petróleo o el gas natural, una mezcla de propano y butano.

La principal ventaja de esta alternativa reside en su precio, el cual es el más bajo del mercado. También mejora el par motor y las prestaciones del motor y es que el riesgo de combustión en la admisión es menor. La relación de carbono/hidrógeno del GLP es menor que la de la gasolina o el diésel de forma que las emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2) son más reducidas.

Al igual que los vehículos de gas natural, existen modelos de vehículos de GLP de serie, pero la gran mayoría son vehículos de gasolina reconvertidos para el uso de GLP como combustible alternativo, reconversión que también se ha de hacer en un taller homologado para ello. En el caso de los vehículos de tipo diésel, dicha reconversión no suele ser económicamente viable dadas las dificultades por la relación de compresión del motor y de la necesidad de instalación de bujías que provoquen el encendido del combustible.

Por esto, los vehículos de GLP no sólo poseen una disposición constructiva y un funcionamiento equivalente al de un vehículo de gasolina, sino que, también suelen ser vehículos bi-fuel, es decir, cuando el conductor lo requiera podrá circular en modo gasolina o modo GLP. Este tipo de funcionamiento es útil ya que, como ocurría con el gas natural, el repostaje de GLP es complicado al no haber numerosas gasolineras que lo ofrezcan. El consumo de un vehículo de GLP es mayor que el de un vehículo de gasolina, pese a eso, la transformación sigue saliendo rentable al ser mucho mayor la diferencia de precio entre combustibles.

Por último, cabe destacar que, a diferencia del gas natural, este tipo de combustible no requiere de ningún cambio de piezas ni de materiales al no ser incompatible con los materiales usados en un vehículo de gasolina. Lo único que requeriría serían las piezas adicionales para el circuito con el consecuente aumento de peso.



2.7 VEHÍCULOS DE HIDRÓGENO:

Los vehículos de hidrógeno son una tecnología aún en fase de desarrollo sin casi comercialización. En países como Japón, ya se ven circulando por la calle vehículos de propulsión de hidrógeno ante la presencia de hidrogeneras para su recarga. Aun así, en España y Europa, casi no se comercializan vehículos y realmente no existe la opción de recargarlos, dificultando aún más dicha comercialización.

Por ello los vehículos de hidrógeno son aún una tecnología emergente, pero son una gran opción con vistas al futuro ya que es un vehículo de cero emisiones nocivas debido a que su único gas de emisión es vapor de agua, lo que contribuye a la disminución de la contaminación.

Existen dos opciones de funcionamiento de un vehículo de hidrógeno cuya explicación veremos a continuación.

2.7.1 COMBUSTIÓN DE HIDRÓGENO:

El hidrógeno, que en condiciones ambientales de presión y temperatura se encuentra en estado gaseoso, se puede usar como combustible para un motor de combustión interna sustituyendo a los combustibles convencionales.

No se requiere de un funcionamiento especial, y la disposición constructiva del vehículo sería equivalente. La ventaja radica en que al ser hidrógeno puro el combustible, su combustión sólo produce agua, por lo que no se emite CO_2 ni otros gases nocivos a la atmósfera.

El principal problema de este tipo de tecnología es que, en el proceso de intercambio energético a través de la transformación de la energía contenida en el hidrógeno, en energía térmica, y posteriormente en energía mecánica, existen enormes pérdidas lo que disminuye el rendimiento de un motor.

El desarrollo de los vehículos de hidrógeno no se está centrando en desarrollar esta aplicación, ya que no es una opción realmente rentable desde el punto de vista energético. Aun así, algunas marcas han desarrollado esta tecnología al ser mucho más económica en su etapa de fabricación hoy en día.

2.7.2 PILA DE COMBUSTIBLE:

El funcionamiento del vehículo por una pila de combustible consiste en la producción de electricidad para que un motor eléctrico la transforme en energía mecánica de forma más eficiente que a través de un motor de combustión.

Hoy en día, la única alternativa que las marcas han desarrollado es el uso de metanol o de gasolinas, reformados y con bajo contenido en azufre. De estos hidrocarburos se usa el hidrógeno contenido para la producción de hidrógeno puro y así hacer funcionar la pila de combustible.

A continuación, en la figura 8 se muestra un esquema básico de los componentes principales que requiere un vehículo de pila de combustible. Este es claro, un vehículo cuyo único funcionamiento se basa en el empuje gracias a la electricidad producida por la pila, mientras que existen vehículos híbridos donde el empuje por la pila de combustible está asociado al empuje producido por un motor convencional y que en este trabajo no se examinarán.

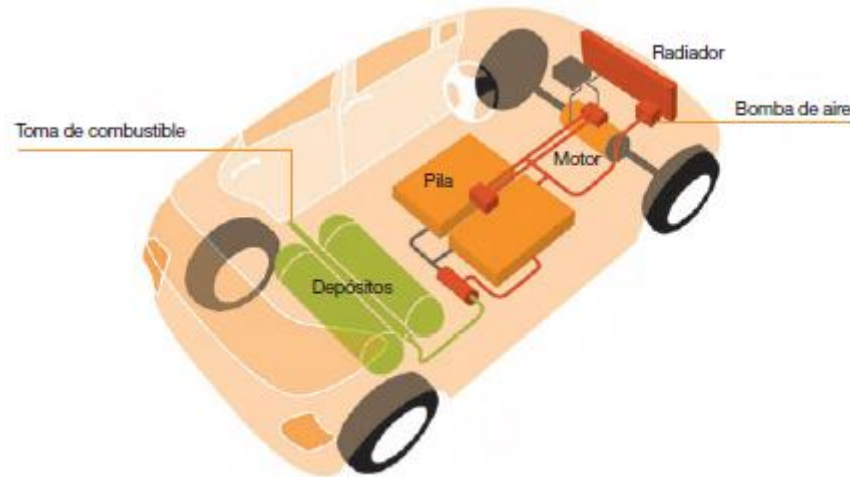


Figura 7. Arquitectura de un vehículo de pila de combustible.

La pila de combustible es un dispositivo electroquímico que produce electricidad por una reacción química como si fuera una batería. Es la suma o unión de muchas pilas llamadas celdas o células de combustible, en la que cada una dispone de un cátodo y un ánodo. La mayor diferencia entre una pila de combustible y una batería es que, en la pila, la generación de electricidad depende de un combustible externo que se aporta, por lo que, en el momento en que se acabe dicho combustible la electricidad se acabaría, es decir, no tiene energía eléctrica contenida. La batería, sin embargo, produce electricidad a partir de un almacenamiento químico de energía que requiere de cargas frecuentes.

Si el hidrógeno y el oxígeno se mezclan de manera libre, se produce un gas detonante, generando unas fuerzas y la energía que será usada. Es el proceso inverso a la electrólisis del agua mediante la cual obtenemos el hidrógeno y el oxígeno de forma separada. Esta es la base del funcionamiento de la pila de combustible de hidrógeno, las fuerzas generadas por dicha reacción química son usadas para generar corriente eléctrica.

El hidrógeno suministrado desde el depósito de almacenamiento fluye a través de unos conductos mecanizados sobre las placas de grafito que forman la pila de combustible, al igual que el aire que se obtiene del ambiente, que circula de similar forma por el lado contrario de la pila.

El hidrógeno consiste en moléculas de H_2 en las que se comparten dos electrones y cada cual mantiene su núcleo y su protón. La pila de combustible rompe esta molécula para obtener iones de hidrógeno con los que producir la electricidad. El ion exacto que produce la electricidad depende del tipo de pila de combustible que tengamos.

Todo lo que se produce en esta reacción y que emite la pila de combustible es vapor de agua a alta temperatura.

Para la reacción se impide que exista un contacto directo entre el hidrógeno y el oxígeno mediante el uso de electrolitos según la pila de combustible, pero por norma general en la automoción, por medio de una membrana de intercambio de protones hecha de algún polímero sólido como por ejemplo Nafion [26] y revestida con platino como catalizador, facilitando la reacción.



Gracias a este electrolito, se evita la producción del gas detonante al provocar que sólo pasen a través de la membrana los átomos de hidrógeno con carga positiva que ya se hayan disociado mediante el efecto catalítico del platino. Una vez se atraviesa la membrana los protones reaccionan con el oxígeno del aire en el cátodo

Esta unión entre el hidrógeno y el oxígeno genera fuerzas de atracción forzando a los electrones disociados a traspasar hacia el cátodo. Este flujo de electrones se realiza, a raíz del electrolito que impide su paso, saliendo desde el ánodo y circulando por el circuito externo que contiene el motor eléctrico, que, a consecuencia, se acciona y produce energía mecánica.

En la industria existen numerosos tipos de pilas de combustible en función del electrolito y el combustible de abastecimiento. A continuación, se explicarán alguno de los tipos de pilas de combustible que son de uso en la automoción:

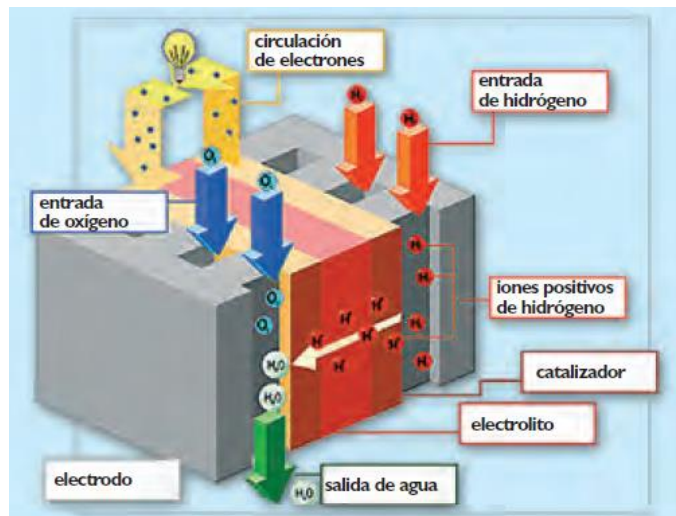


Figura 8. Esquema de una pila de combustible. Fuente [27]

Pila de combustible alcalina (AFC):

Dispone de una solución acuosa de hidróxido de potasio (KOH) como electrolito. Otras pilas están formadas por electrolitos ácidos de alto rendimiento, teniendo un electrolito menos corrosivo para los electrodos y contaminante. La pila de combustible alcalina consigue tener un rendimiento tan bueno como el resto. Gracias a su eficiencia del 60% [26] en la producción eléctrica, se llevan usando mucho tiempo. Para su funcionamiento requiere únicamente de hidrógeno como combustible y son capaces de operar a temperaturas de 80°C [26], más bajas que la mayoría de las pilas, lo que las hace especialmente útiles para su uso en la industria automovilística. El calor residual que genera la pila, puede ser usado para la calefacción del vehículo, ahorrando así la necesidad de incluir un componente de alto consumo. A pesar de esto, la temperatura no es suficiente para producir vapor, por lo que no se puede usar como cogeneración.

Pila de combustible con membrana de intercambio de protones (PEM):

Usa un electrolito sólido, que opera a bajas temperatura como la pila alcalina, en torno a 80°C. El Nafion es un claro ejemplo de polímero sólido usado como electrolito. La eficiencia de la pila de combustible con membrana de intercambio de protones es menor que la de la pila alcalina, ronda el 40% [26], sin embargo, gracias a la construcción simple, fuerte y duradera, hace que este tipo de pila de combustible sea altamente adecuada para las aplicaciones en el automovilismo, siendo hoy en día la opción más aceptada. La principal ventaja de esta pila es su capacidad de tolerancia para las impurezas del hidrógeno, mientras que en la alcalina se necesita como fuel el hidrógeno puro. Por todo esto, la pila de membrana y la alcalina son las más usadas en la automoción.



Pila de combustible de metanol directo (DMFC):

La pila de combustible de metanol es el resultado de una investigación para usar metanol como combustible de una pila de combustible sustituyendo el hidrógeno, dada su mayor seguridad para llevar a bordo del vehículo. El principio de funcionamiento es el mismo, sólo que las temperaturas de trabajo se incrementan desde los 90°C hasta los 120°C [26]. Al ser esta una temperatura aceptable de trabajo, la sustitución del hidrógeno para el uso de metanol como combustible es posible. El electrolito usado seguiría siendo una membrana de intercambio de protones. La eficiencia de producción eléctrica es del 30% [26] por lo que no es del todo buena. Este tipo de pila está actualmente en estado de investigación y diseño en búsqueda de un buen electro catalizador que reforme el metanol, aumente la eficiencia y reduzca el oxígeno presente en el metanol.

Tabla 1. Resumen tipos de pilas de combustible. Fuente [2]

Tipo de pila de combustible	Combustible	Electrolito	Temperatura de operación	Eficiencia	Aplicaciones
Alcalina	H ₂	Solución de hidróxido de potasio	80°C	40%-50%	Aplicación móvil
Membrana de intercambio de protones	H ₂ o H ₂ reformado con LNG o metanol	Película de polímero de intercambio de iones	80°C	40%-50%	EV y HEV de aplicaciones a industrias de más de 80 kW (Ej.: Automoción)
Metanol directo	Metanol o etanol	Polímero sólido	90°C-120°C	30%	EV y HEV de aplicaciones a dispositivos pequeños entre 1 y 70 kW (Ej.: Telefonía móvil)

2.8 BIODIÉSEL:

El biodiésel, al igual que el etanol, es un combustible surgido de la idea de crear un combustible renovable, de parecido poder calorífico y eficiencia que los combustibles fósiles, proveniente de la constante alarma por el fin de estos últimos. Al ser los combustibles fósiles un recurso finito que se está acabando, los costes y dificultad de extracción y obtención van en aumento de forma que la obligatoriedad de búsqueda de nuevas alternativas nos lleva a producir nuevos combustibles renovables, además de más beneficiosos para el medio ambiente. El biodiésel es la alternativa renovable al diésel procedente del petróleo.

Se trata de un combustible obtenido de los lípidos naturales procedentes de grasas vegetales o animales mediante procesos naturales de transesterificación. Aparte de su procedencia renovable, es un gran avance en sostenibilidad medio ambiental debido a la drástica reducción de emisión de gases de efecto invernadero (CO₂) y, sobre todo, la reducción de emisiones de azufre (SO₂), evitando las lluvias ácidas. No sólo es apto para su uso en motores de combustión



interna de encendido por compresión, sino que se permite su uso para calderas de calefacción y otros posibles equipos que se alimenten del diésel tradicional.

Las propiedades del biodiésel son prácticamente iguales que las del diésel convencional. Su uso se desarrolla de distintas formas, no sólo es posible encontrarlo de forma pura (B100) si no que existen diversas denominaciones en función de su porcentaje de biodiésel dentro de una mezcla con diésel convencional.

En primer lugar, existe el B5, denominado así por tener una cantidad de biodiésel, no superior al 5%. En la actualidad, la normativa española permite que todos los carburantes vendidos como diésel tradicional vengan mezclados en una cantidad menor a esta, dada la baja influencia y efecto en el motor. No sería necesario en estas mezclas, según la normativa, si quiera informar de la mezcla con biodiésel.

Aparte, existen otras mezclas a disposición en las gasolineras, al tener todas ellas porcentajes mayores del 5% ya es obligatorio su etiquetado e información para el usuario. Existen mezclas B12 (12% biodiésel), B15 (15%), B20 (20%) y B30 (30%).

Todas ellas son aptas para cualquier vehículo diésel convencional sin la necesidad de realizar ninguna transformación y manteniendo la garantía gracias a estar en una cantidad menor del 30%. Sin embargo, para el uso de biodiésel puro, puede que se requiera de una pequeña modificación en el motor que mantenga sus propiedades.

Esto se debe a que el biodiésel tiene cierta incompatibilidad con materiales como la goma, debido a esto, sobre todo los vehículos antiguos que disponen de juntas y manguitos fabricados con goma, han de ser cambiados por materiales más compatibles. Aparte de eso, el vehículo no requiere de más transformaciones.

Son numerosas las ventajas que tiene el biodiésel frente al diésel convencional, por ejemplo, el almacenaje es más seguro ya que tiene un mayor punto de inflamación que dificulta su encendido. También, mejora el rendimiento del motor durante la combustión, esto se debe a un mayor número de cetano o un menor intervalo de encendido (tiempo que tarda entre la inyección del carburante y el comienzo de su combustión) que provoca el encendido rápido de la mezcla y una mejor quema, mejorando la combustión total de la mezcla.

Por otra parte, el biodiésel tiene un mayor efecto lubricante y detergente que protege y alarga la vida de los inyectores y la bomba de inyección. A todo esto, hay que sumarle que el motor es más silencioso y la ya mencionada sostenibilidad del combustible al emitir menor cantidad de gases contaminantes y de partículas dañinas para el medio ambiente.

A su vez, con el poder detergente del lubricante, se requiere de una mayor frecuencia a la hora de sustituir los filtros de combustible. En el caso de que anteriormente se haya usado un combustible fósil, se podría requerir dicho cambio de filtros para aproximadamente los dos primeros depósitos, dependiendo de la antigüedad del motor, de los kilómetros recorridos y suciedad almacenada. Esto se debe a que con el poder detergente se limpian y arrastran todas las impurezas almacenadas en el depósito del vehículo. También, debido a esto, en el caso de tener grandes depósitos como en los camiones o cualquier otro vehículo voluminoso, se han de introducir filtros decantadores que limpien las impurezas directamente en el depósito. Así mismo, los cambios de aceite tendrán que ser más frecuentes por la mayor suciedad acumulada en él.



Si el coche no ha sido modificado con anterioridad al uso, es posible que disponga de materiales de goma no aptos para el uso de biodiésel, con lo que se ha de chequear de manera habitual posibles fugas en el circuito del combustible.

Para el uso del combustible, no se debe dejar el depósito lleno más de un mes, ya que estos necesitan también ser especiales por la compatibilidad de materiales.

Por último, a la hora de usar biodiésel habría que tener en cuenta ciertos aspectos que puedan resultar extraños a ojos inexpertos. El poder calorífico del biodiésel es menor, esto hará que aumente el consumo del vehículo en su circulación y disminuya levemente su potencia, aun así, seguirá siendo más sostenible medioambientalmente y barato, gracias, principalmente, a ayudas gubernamentales. El sistema de bombeo estará más exigido, por la mayor viscosidad del combustible, por lo que requiere mayor revisión de su estado. El último aspecto a tener en cuenta sería que, según estudios, con el uso de biodiésel el aceite se degrada y quema más rápidamente.

2.9 BIOETANOL:

El uso del bioetanol se ha ido implementando en los últimos años mediante las mezclas con la gasolina. Se trata de un sustituto parcial de la gasolina para su uso como combustible renovable. A diferencia del biodiésel, el bioetanol siempre se dará en ciertos porcentajes mezclado con la gasolina, debido principalmente a su bajo poder calorífico. Aun así, se trata del biocombustible más utilizado hoy en día, dándose en porcentajes entre 5% y 10% mezclado con la gasolina.

Existen también vehículos flexifuel o FFV que usan mezclas de bioetanol y gasolina con hasta el 85% de etanol. En otros países, se comercializan vehículos de uso de etanol puro, en España, por el momento, no se ha desarrollado esa posibilidad.

El bioetanol, consiste en un alcohol obtenido de la fermentación de materias primas con alto contenido en almidón (patatas, cereales, azúcares, etc.). Con el uso de etanol se contribuye a la perduración de los combustibles fósiles, reduciendo su uso y gasto que. Como ya se ha mencionado, la constante alarma de fin del crudo y combustibles fósiles nos lleva a la búsqueda de combustibles generados de productos renovables. A esto habría que sumarle el hecho de ser, en cierta manera, un combustible de cero emisiones. Aunque no del todo cierto, el CO₂ emitido durante la combustión del etanol, es parte del ciclo de las materias primas orgánicas usadas para su fabricación, gracias a ello se le puede considerar un combustible renovable con carácter neutro de emisiones.

A largo plazo, se nos ofrece también una alternativa prometedora, denominada bioetanol de segunda generación, que es proveniente de algas, hierbas, residuos madereros y otras materias que no sean aptas para la alimentación del ser humano.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el poder calorífico del bioetanol es considerablemente menor que el de la gasolina, debido a esto, aumenta el consumo. No obstante, el octanaje es superior por lo que se consigue una mayor potencia, con esto se consigue un consumo más equilibrado.

En los recorridos urbanos, el vehículo se encuentra continuamente en situación de frenado, paradas y aceleraciones desde el reposo por lo que al motor se le exigen puntas de máximo esfuerzo, debido al alto octanaje del etanol y a su mayor potencia, el consumo de combustible en estas situaciones es menor que las gasolinas, no cumpliéndose, como ya se ha mencionado,



en el resto de situaciones. Así, el uso más recomendado de este tipo de combustible es el de situaciones de circulación por recorrido urbano.

También gracias al mayor número de octano u octanaje, la detonación de la mezcla en el cilindro es de mejor calidad y más limpia, que conlleva a una mejoría del rendimiento del motor. Otra de las ventajas del uso de bioetanol es la evidente disminución de gases de emisión, sobre todo de hidrocarburos no quemados y de monóxido de carbono (CO).

No son excesivos los cuidados requeridos para el mantenimiento de vehículos de bioetanol, de hecho, gran parte de los vehículos fabricados actualmente permiten el uso de etanol en porcentajes de hasta el 10% de mezcla con gasolina. No obstante, existen recomendaciones de uso de etanol en vehículos fabricados para el uso de gasolina, como cuidar y tener una correcta limpieza y estanqueidad de los depósitos de combustible para evitar la incorporación de agua. Al igual que en el biodiésel, vigilar los filtros de combustible, principalmente en los primeros usos. Por último, para vehículos antiguos que funcionen con carburador, aparte de la correspondiente adaptación de materiales, habría que poner a punto este elemento de forma que su rendimiento sea óptimo para el nuevo combustible.

En el caso de usar mezclas superiores al 10%, tales como el 85%, se requiere de vehículos transformados o diseñados para ese fin. Esto se debe a que se ocasionan problemas de corrosión y fugas de combustible en manguitos y demás productos del circuito. También, al ser un compuesto más volátil, en situaciones de baja temperatura pueden aparecer problemas para el arranque.

Por último, pero no menos importante, cabe destacar que el CO₂ emitido, proviene del origen vegetal de las materias usadas, así que ha sido previamente absorbido lo que le da un carácter neutral. Gracias a esto, el combustible puede considerarse totalmente renovable y más limpio que los combustibles fósiles, más aún, si tenemos en cuenta la reducción de emisiones de hidrocarburos no quemados y la importante reducción del monóxido de carbono.

En cuanto al ahorro, el consumo de bioetanol será mayor, pero según un estudio del Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), en el ciclo completo desde su obtención, transporte y distribución, existe un ahorro del 36% para el E85 y 1,12% para el E5 [25].



3. MÉTODO DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV):

3.1 ALCANCE DEL MÉTODO:

La evaluación del ciclo de vida es un método de cuantificación para el impacto medio ambiental de un producto atendiendo a las entradas y salidas de materia y energía, incluyendo el gasto producido en la extracción y procesamiento de los materiales, en su conversión a los productos deseados y a los procesos constructivos y al uso del objeto una vez fabricado. El método del análisis del ciclo de vida consiste en analizar las distintas fases del ciclo de un producto y la contribución de estas al impacto medio ambiental.

Las 4 fases que debes tener en cuenta son:

- El alcance del impacto, donde habría que definir el tipo de análisis, los materiales, productos o procesos usados.
- El análisis de inventario, donde habrá que cuantificar la energía, materias primas y emisiones usadas o producidas.
- El análisis del impacto, identificaremos y cuantificaremos el impacto de cada apartado del análisis de inventario para el medio ambiente.
- El análisis de mejora o comparativa de resultados donde compararemos todas las pruebas realizadas y concluiremos en la mejor opción medio ambiental.

El método de la evaluación del ciclo de vida es un método diseñado principalmente para la comparación de distintas tecnologías y fabricaciones de un producto de forma que podamos obtener la más sostenible, analizando de forma separada todos los apartados del análisis de inventario, en este caso, el consumo energético. Con ello, obtendremos la más eficiente en la actualidad.

Este trabajo va a estar centrado en el análisis paralelo de dos ciclos de vida, tanto del vehículo como del combustible, su unión posterior y la comparativa de dicha unión de manera que se pueda establecer la mejor opción desde el punto de vista energético.

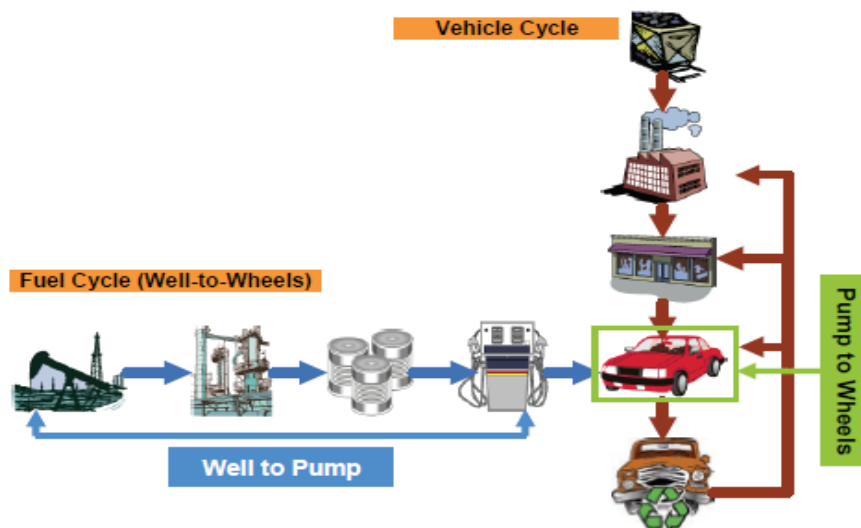


Figura 9. Esquema de análisis del ciclo de vida del vehículo y combustible.



3.2 CICLO DE VIDA DEL VEHÍCULO:

En este caso, para el análisis de los vehículos de forma generalizada se dispone de los siguientes pasos o fases de vida:

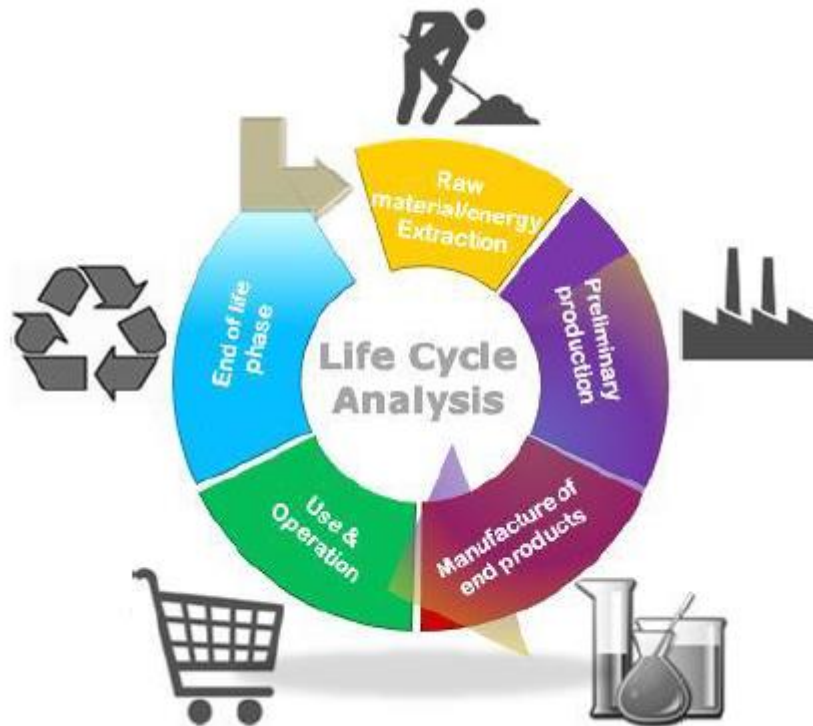


Figura 10. Ciclo de vida del vehículo. Fuente [4]

En primer lugar, se tiene la fase correspondiente a la extracción de materias primas, donde habría que analizar la energía consumida por las máquinas empleadas en la minería y transporte de materias a fábrica. La segunda fase, correspondería a la producción de los productos semiacabados, como son los lingotes de metal o las materias poliméricas preparadas para su conformado. Después, la tercera fase correspondería a la producción de las partes acabadas, teniendo en cuenta la maquinaria usada en este proceso, y al ensamblaje de todas ellas. Luego se tendría una cuarta fase, y la más intensiva energéticamente, correspondiente al uso del producto, en este caso el vehículo, en la cual se tendrá en cuenta el consumo que este produce. Por último, habría que tener en cuenta el desmantelado del vehículo y la energía correspondiente a la adaptación para su posterior uso de materiales reciclados en la última fase, conocida como fin de vida y reciclado.

De estas fases, se analizará el uso de energía en las cuatro primeras, omitiendo la energía de la fase de reciclado, por considerarse muy similar en todos los tipos de vehículos, ya que el factor prioritario es el reciclado del acero, que es el componente principal en peso, y que está presente en todas las tecnologías. Además, se dispone de pocos datos y de baja calidad debido a su difusividad. Aparte, las tres primeras serán analizadas y expuestas como una única, estableciendo la energía de producción del vehículo, ya sumada la energía de la extracción de las materias, del procesamiento de los mismos y de la producción de partes y ensamblado de ellas.



La elaboración de este trabajo estará basada en los datos almacenados en las bases de datos y distintos estudios realizados para las distintas tecnologías ya descritas. Con los diversos datos obtenidos se realizará un cálculo medio del consumo según las distintas tecnologías empleadas en la fabricación y los distintos vehículos posibles.

Este trabajo va a estar centrado en el consumo de energía primaria, debido a ello se tendrá que tener en cuenta la energía consumida por las maquinas empleadas durante toda la fase de fabricación. En la fase de obtención de materias primas, se incluye la energía de la maquinaria de excavación y transporte a la planta de procesamiento. Después, se tendrá en cuenta la energía consumida en su proceso, y conformado para la producción de los componentes. Por último, en la etapa de fabricación se habrá de tener en cuenta la energía de soldadura, pintura y etapas del ensamblado total del vehículo.

Después, en la etapa de uso se considerará la energía consumida por el mismo, y para ello, se considerará también la energía consumida por el combustible durante su fabricación. Esto incluye la etapa de la extracción, bien sea petróleo, gas o cualquier materia para el resto de combustibles. Después, la etapa del procesamiento, por el cual se obtendrá el combustible deseado y el octanaje necesario para el funcionamiento del vehículo. Y, por último, lo correspondiente a la distribución a los puntos de venta o recarga.

A continuación, se explicarán los parámetros a tener en cuenta durante la vida del vehículo, tanto de materias necesarias como de procesos constructivos.

3.2.1 ETAPA DE OBTENCIÓN DE MATERIAS PRIMAS:

Los materiales que componen un vehículo son muy diversos, utilizando desde aceros básicos para componentes de gran resistencia y bajo coste, hasta polímeros complejos que estén compuestos de distintos componentes y que sirvan para aligerar el peso extra en el coche.

Según el vehículo, coste del mismo en su compra, marca, la utilización de algunos materiales puede ser variable, llegando a disponer de distintos materiales costosos y difíciles de fabricar para vehículos de alta gama y una mayor simplificación para vehículos medios, usando metales de bajo costo.

El análisis estará basado en una distribución de materiales para el vehículo medio, ya que son los que más abundan en nuestras calles y, por lo tanto, los de mayor efecto medioambiental.

De todos los materiales que forman parte de un vehículo se puede destacar algunos de los que se incluirá una breve descripción y explicación de todos los procesos necesarios para su conformado.

Dentro de los materiales, se puede diferenciar entre los metales, los polímeros y plásticos, los materiales empleados en las baterías y los materiales de la pila de combustible, estos dos últimos casos tienen una fabricación y un empleo de materiales un poco más compleja.

Profundizando en todos esos grupos, la fabricación de los metales puede ser la más exigente energéticamente, ya que forman gran parte del vehículo y requieren de numerosos tratamientos para su conformado final. Aparte, en los vehículos eléctricos, la fabricación de la batería es mucho más compleja y costosa, teniendo en cuenta el tamaño y peso de esta.

En este análisis, la etapa de obtención de materias primas será considerada de manera implícita, dentro de la etapa de fabricación del vehículo, al tener en cuenta la energía consumida en la fabricación de las partes diferenciadas del vehículo.

**Acero:**

El acero probablemente sea el material más importante y abundante en un vehículo. Lo primero que ha de hacerse y tener en cuenta en la fabricación del acero, es el proceso de extracción del mineral usado, por ejemplo, taconita. En este proceso se tendría en cuenta los procesos de barrenado, recogida, separación y demás procesos dentro de la minería.

Para la realización del peletizado, se empieza triturando el material recogido, en polvo fino, para así, separar el hierro de la roca mediante magnetismo. El polvo se humedece y se introduce junto con arcilla dentro de un tubo, en dicho tubo se rota la mezcla, aportando calor y frío para formar pellets de hierro.

Se sigue también el proceso de sinterizado de forma paralela produciendo una mezcla de polvo fino de mineral de hierro, coque, caliza, dolomita y polvo de combustión, quemado por un horno de gas y fundido. Tanto los pellets como el sinterizado, se introducen después en los altos hornos para producir hierro, que requiere tratamientos de mejora de material posteriores.

Los pellets de hierro, el sinterizado y el coque se introducen en los altos hornos para su fundición, para ello, se alcanzan temperaturas entre 1200°C y 1500°C [2] reduciendo el mineral de hierro en arrabio. La caliza sirve para absorber las impurezas de la mezcla conocidas como escoria, haciéndolas flotar por encima del hierro fundido, así, se eliminan de la superficie dejando caer después el hierro por el fondo del alto horno.

Una vez se ha obtenido el hierro fundido, se procedería a la oxigenación del mismo. Esto sirve para convertir el hierro fundido en acero, para ello, se vierte el hierro fundido en un cucharón de y se le añade magnesio que reduzca las impurezas de azufre. Después se vierte en una vasija donde se le introduce oxígeno puro, todo esto a una temperatura de 1700°C [2]. Se le añade más caliza con el objetivo de eliminar las impurezas añadidas. Posteriormente se vierte el hierro en otro horno añadiendo materiales de aleación, dependiendo del uso.

Ya con el acero fabricado, se podría producir los lingotes con moldes o producir bobinas mediante laminado.

Un acero secundario es producido por la chatarra mediante un proceso de arco eléctrico, un arco eléctrico pasa entre dos electrodos de grafito de forma que se funda la chatarra. Después se le añade la caliza para purificar las impurezas.

Se consume aproximadamente 32,3 MJ/kg de acero para la fabricación de lingotes o bobinas de hierro si hablamos de materiales vírgenes. En el caso del uso de chatarra sería aproximadamente 11 MJ/kg de acero. Si fabricásemos de manera adicional acero inoxidable, el consumo ascendería en 5,1 MJ/kg de acero. [2]

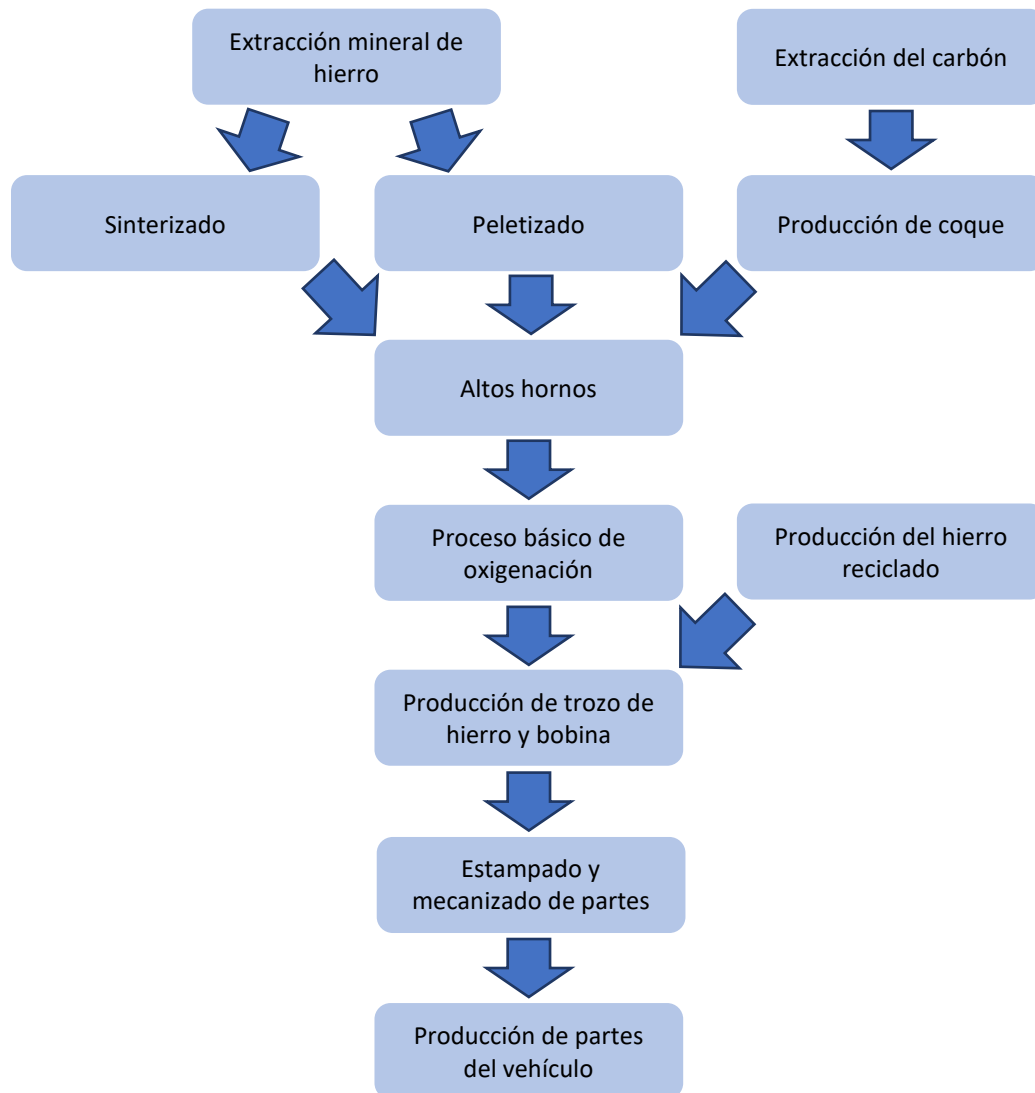


Figura 11. Esquema producción de acero. Fuente [2]

Fundición de hierro:

La fundición de hierro es menos usada que los aceros, no por ello menos importante. Tiene aplicaciones tan necesarias dentro del vehículo como la fabricación del bloque motor. Este suele ser fabricado directamente por las marcas productoras de automóviles de forma que en su misma fábrica funden los componentes necesarios y moldean el bloque según diseño de los ingenieros. Para la fabricación de la fundición, se emplea un gran porcentaje de hierro reciclado, el cual es reducido en tamaño mediante corte y trituración para ser introducido en el molde. Para la fabricación de la fundición de hierro, se emplea coque de fundición, que es similar al coque metalúrgico, pero con mayor energía.

Para la producción de la fundición de hierro se consume en torno a 32 MJ/kg de fundición [1], por lo que vemos que el gasto energético no es muy distinto que para la producción de acero.

Aluminio y aluminio forjado:

El uso del aluminio en el mundo de la automoción se ha estado implementando y desarrollando con el paso de los años. El aluminio y las aleaciones derivadas son conocidas desde hace relativamente poco, es por eso, que su uso aún es un poco verde. Gracias a su baja densidad, se



trata de un metal útil en el aligeramiento del peso de los vehículos, el problema, viene por su baja resistencia. Es por eso que se están investigando numerosas aleaciones que mejoren su resistencia y mantengan su bajo peso para la introducción, cada vez en mayor cantidad, en el mundo de la automoción.

Para la fabricación del aluminio, primero, se debe considerar la extracción de la bauxita, lo que incluye, procesos de barrenado, separación de la roca y transporte hasta la planta de refinado. Después se iniciaría el proceso de producción de la alúmina conocido como proceso Bayer, para ello habría que lavar la bauxita, pulverizarla y disolverla en sosa cáustica a unas temperaturas cercanas a 250°C [2]. Una vez se enfría la solución con sosa cáustica, podemos obtener cristales de hidróxido de aluminio ($\text{Al}(\text{OH})_3$). Para finalizar, el hidróxido de aluminio se calienta a 1050°C [2], dejando la alúmina [2] como producto final.

Después de esto se inicia el proceso Hall-Heroult, en el, se pasa a disolver la alúmina dentro de una cuba electrolítica la cual esta revestida por dentro con carbono y rellena de criolita fundida (Na_3AlF_6) a 960°C [2] y fluoruro de aluminio (AlF_3). Se hace pasar corriente continua a través de la solución, de manera que se rompen los enlaces de oxígeno y aluminio. Esto produce aluminio líquido en el fondo de la cuba que ya puede ser recolectado. Después de esto, el aluminio se suele introducir en un horno entre 700°C y 800°C [2] para añadir los materiales de aleación que se requieran según su uso. También es posible que se vierta directamente en un molde de forma que se obtengan piezas de aluminio puro, el problema, como ya se ha mencionado antes, es su baja resistencia, es por ello que las aplicaciones de aluminio puro sin aleantes no son usadas en el mundo de la automoción.

Al aluminio obtenido, se le da, en primer lugar, forma de lingote. A estos, una vez son enviados y repartidos a las distintas marcas y fábricas, se les funde y se vierten en un molde con las piezas a fabricar, bien pueden ser ruedas, pistones u otras aplicaciones en función de cada caso.

Existe un aluminio secundario procedente de la chatarra, para ello se requiere de la preparación de la chatarra para su fundido, lo que incluye operaciones de corte y trituración para hacerla más manejable a la hora de introducirla en horno. Una vez fundido, se vierte en moldes para su posterior uso.

Al producto fundido se le añade cloro con el objetivo de eliminar el magnesio de la aleación, el problema, se han de controlar y eliminar las emisiones de cloro ya que son dañinas. Así, de la chatarra lo que se obtiene es aluminio puro en lingotes que en fábrica serán transformados en partes del automóvil.

La producción secundaria del forjado de aluminio tiene la diferencia de que sólo es usado para producir bobinas para la fabricación de piezas por estampado.

Debido a ello, la producción de materiales forjados y fundidos ha de hacerse por separado para así tener pleno conocimiento de la composición química. Mientras que para la fabricación primaria de aluminio no se ha de hacer ninguna diferenciación en el proceso inicial.

La energía usada para la fabricación de las partes de fundición del aluminio, usando aluminio virgen, es de aproximadamente 84,5 MJ/kg de aluminio, siendo el proceso más costoso la reducción de la alúmina (proceso Hall-Heroult) consumiendo aproximadamente 69,5 MJ/kg de aluminio. Debido a ello, el uso de materiales reciclados es realmente útil, al consumir todo el proceso de reciclado, únicamente 32,8 MJ/kg de aluminio. [2]



En el caso del aluminio forjado, producir el aluminio en lingotes y moldes, con materiales vírgenes es también de 84,5 MJ/kg de aluminio, a no ser que se quiera producir en bobinas lo cual tendría un incremento de 8,8 MJ/kg de aluminio. También, el uso de materiales reciclados disminuye considerablemente la energía requerida, siendo tan sólo de 19,5 MJ/kg aluminio para toda la producción, incluyendo el bobinado. [2]

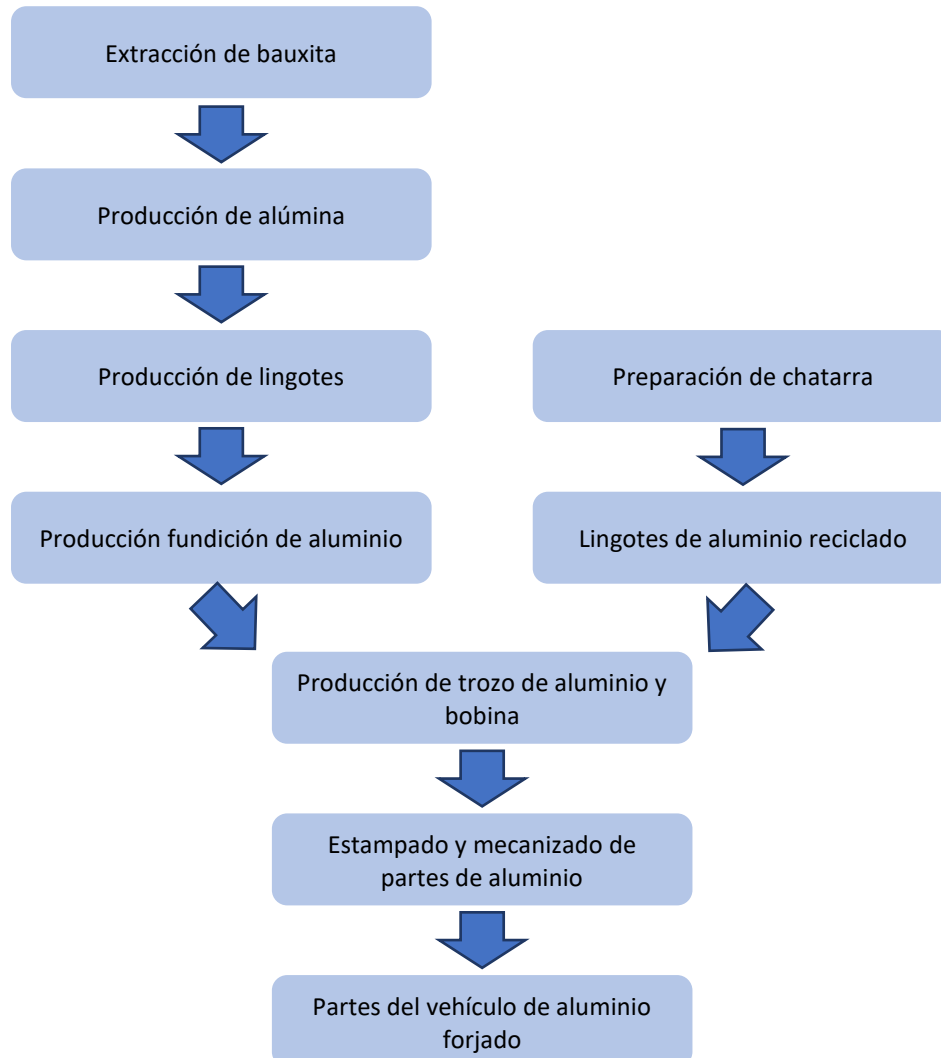


Figura 12. Esquema de fabricación de aluminio forjado. Fuente [2]

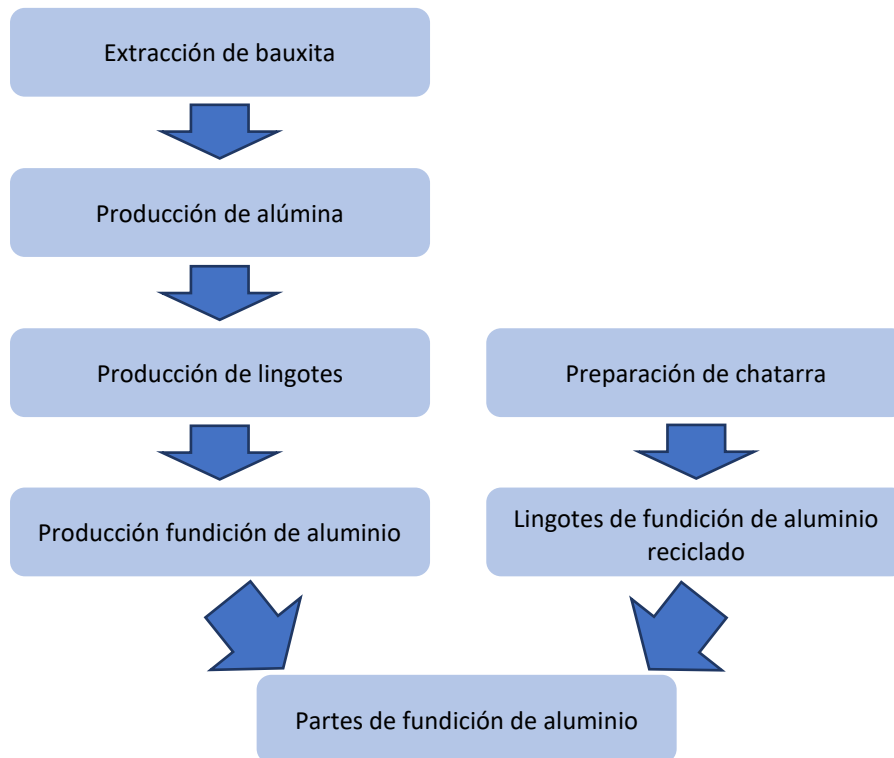


Figura 13. Esquema de fabricación de fundición de aluminio. Fuente [2]

Cobre:

El cobre tiene su uso principal para aplicaciones eléctricas y electrónicas, como conductor de electricidad. Es por eso que cada vez tiene más aplicación en la automoción, al tener los vehículos mayor control electrónico y un mayor volumen de cableado. Su uso en vehículos eléctricos, es todavía más elevado de lo normal, siendo totalmente necesario analizar su impacto. También tiene su aplicación en la fabricación de latón para los radiadores del vehículo, aunque estos suelen tener menor impacto al ser reciclado de vehículos anteriores.

Este se obtiene por fundido o por recuperación mediante lixiviación, separando mediante un disolvente adecuado, las partes solubles de las insolubles, de un mineral de sulfuro. Al ser un mineral de sulfuro el que puede ser fundido, hay que tener en cuentas las emisiones de SO_x debido a su alto efecto contaminante, y procurar tenerlas bajo control.

Analizando el consumo energético, todo el proceso de minería para la obtención del mineral, concentración del cobre, los procesos necesarios para su tratamiento y la extrusión para el conformado del cableado, consumen en torno a 69,6 MJ/kg de cobre en hilo. El proceso de reciclaje es menos intensivo consumiendo entre 6,3 MJ/kg de cobre y 44,3 MJ/kg de cobre de energía. [2]

Zinc:

Las aplicaciones del zinc en el automovilismo han ido decreciendo a lo largo de su historia, llegando a ser su uso, a día de hoy, exclusivamente para el tratamiento superficial de aceros o galvanizado. Esto se debe a que el zinc es un metal más oxidable que el hierro, lo que le hace actuar como ánodo de sacrificio incluso si la capa superficial se agrieta. Sobre el zinc se genera un óxido estable que permite su oxidación superficial sin afectar al resto de la estructura.



La energía requerida para la extracción del mineral es de aproximadamente 3,9 MJ/kg de Zinc, mientras que todo el proceso de obtención de zinc puro consume aproximadamente 90,7 MJ/kg de zinc. [2]

Magnesio:

El uso de magnesio en los vehículos es, al igual que el de zinc, muy reducido. Pero al contrario que pasaba con el zinc, el uso del magnesio está en crecimiento, siendo el uso hace años casi nulo. La principal ventaja del magnesio es que, con una densidad de tan sólo 1,74 g/cm³ [2], es un material ultraligero con, además, gran resistencia, siendo el metal con mejor relación resistencia - peso, ideal para realizar aleaciones de gran calidad.

El uso de magnesio actual se aplica a algunos soportes de la columna de dirección, bastidores de asientos y soportes en el panel de instrumentos, mediante la fundición a presión. En un futuro puede ser posible que le empecemos a dar más usos como paneles del techo, el único inconveniente actual, su alto coste.

El magnesio es fácil encontrarlo, compuesto, en depósitos sólidos o soluciones acuosas como el agua de mar, nunca de forma elemental. Para su obtención se realiza una reducción electrolítica del dicloruro de magnesio (MgCl₂).

Este proceso de obtención del magnesio puro requiere mucha energía, y consume aproximadamente 176,2 MJ/kg de magnesio [2]. Evidentemente, la utilización del magnesio y la reducción de energía usada para la obtención del mismo, está todavía en un temprano estado de investigación, lo que nos lleva a pensar que en un futuro podrá estar más implementado en nuestras vidas.

Se está investigando la obtención mediante proceso electrolítico a partir del óxido de magnesio, ya que se prevé que pueda ser menos costoso.

La producción secundaria de magnesio por reciclado es posible, y seguramente, más económica, el problema es que no existen datos del consumo energético por lo que no se tendrá en cuenta. Esto se debe a la escasez de reciclaje de este material.

Vidrio:

El vidrio tiene su uso ya implementado y establecido en la automoción, sin investigación de mejoras ni sustitución por otros materiales. Se aplica para la fabricación de ventanas, espejos y en modo de fibra de vidrio para el refuerzo de determinados plásticos del vehículo.

Para la fabricación del vidrio, llevamos a cabo la fundición, a temperaturas entre 1300°C y 1600°C [2], de arena (sílice), caliza, carbonato de sodio, feldespato y pequeñas cantidades de aditivos.

El proceso de fabricación más empleado se trata del proceso de flotación, por el cual, un fino trozo de vidrio se forma por flotación en un baño de estaño fundido bajo una atmósfera de nitrógeno. Aparte, los parabrisas suelen estar fabricados con varias capas de vidrio intercaladas con PVB (butiral de polivinilo). La fibra de vidrio se fabrica de forma similar, la diferencia reside en que se fuerza al vidrio fundido a pasar a través de pequeñas aperturas formando hilos que pueden ser enrollados o cortados según su aplicación.

La energía total consumida en este proceso es de aproximadamente 15,6 MJ/kg de vidrio y de 14,8 MJ/kg de vidrio para la fibra. En el caso del vidrio, no existen datos sobre su reciclaje, ya



que, al no ser un proceso muy intenso ni un material muy difícil de encontrar, no se acostumbra a fabricar vidrio reciclado.

Plásticos:

Los plásticos están formados por derivados del petróleo, a raíz de una serie de reacciones químicas producidas a elevadas temperaturas o presiones. Dentro de los vehículos existen numerosos tipos de plásticos.

Sólo los termoplásticos ya son cerca del 70% de plásticos totales del vehículo, se caracterizan por tener un gran peso molecular y por poder ser modificados ligeramente con un poco de calor. Sin embargo, el reciclado de estos es más difícil de lo que en principio parece al tener cambios químicos que provoquen que los plásticos no sean iguales, aun así, su reciclado es plausible.

A diferencia de los termoplásticos, los termoestables poseen gran capacidad de resistencia mecánica y estabilidad, por desgracia, su principal problema es su impedimento a ser reciclados. A pesar de que la mayoría de plásticos del vehículo pueden ser reciclados, su índice de reciclado es muy pobre. Dada la diferencia de plásticos existentes, la rentabilidad de la operación es muy baja y las empresas de reciclaje no se motivan a llevarlo a cabo.

A continuación, se describirán los plásticos más importantes incluidos en un vehículo, siendo estos el polipropileno (PP), el poliéster termoestable (PET), el polietileno de alta densidad (HDPE) y las fibras de refuerzo de plásticos.

Polipropileno:

El polipropileno es usado en aplicaciones como clips, coberturas, refuerzos del depósito de combustible protecciones del motor, bandejas de las baterías. En conjunto, es el plástico más usado dentro de la industria de la automoción.

Es un plástico de superficie dura, con una buena resistencia al calor, mayor de 120°C [2]. Además, tiene buena resistencia a compresión, tracción y flexión.

La energía requerida para su fabricación primaria ronda los 30 MJ/kg de PP [2], mientras que, para la fabricación secundaria a partir del reciclaje, sólo requiere volver a fundirlo a bajas temperaturas, consumiendo una cuarta parte de la energía, es decir 7,5 MJ/kg de PP [2].

Poliéster termoestable:

En la automoción, lo más usual es su uso como resina para los plásticos reforzados por fibra. Esta resina, es muy resistente y con un alto punto de fusión.

Se estima que la energía necesaria para la fabricación del poliéster es de 64,5 MJ/kg de PET [2], de los cuales, sólo la refinería de las materias primas de hidrocarburos, consumen aproximadamente el 51% [2].

El reciclaje del PET llevado a cabo por métodos químicos que consumen en torno a una tercera parte de la producción primaria de PET, a su vez, el reciclaje llevado a cabo por métodos mecánicos requiere todavía menos.

Polietileno de alta densidad:

Se usa en la automoción, por ejemplo, para el depósito de agua del limpiaparabrisas, así como para otros depósitos del vehículo.



Tiene la ventaja de que es un plástico muy barato por lo que reduce los costes de fabricación del vehículo.

Su fabricación requiere aproximadamente 34,8 MJ/kg de HDPE [2] mientras que el reciclaje sale altamente económico, consumiendo aproximadamente un cuarto de la energía, sólo requiere que el plástico sea limpiado, secado, molido y fundido de nuevo.

Plásticos reforzados con fibra:

Los plásticos reforzados con fibra tienen multitud de usos en la automoción, básicamente los que se le quieran dar. Algunas aplicaciones son la creación de la carrocería o de partes internas del vehículo donde residan esos plásticos.

Están fabricados a partir del uso de al menos dos materiales separables macroscópicamente. Los dos materiales necesarios formarían lo que se conoce como matriz y refuerzo, la matriz sería el material exterior que soporta el material de refuerzo, mientras que este último, como su nombre indica, sería el material que aporta la rigidez al plástico de forma que este tenga unas adecuadas propiedades mecánicas.

El material de la matriz es una resina de base que suele ser de poliéster o éster vinílico mientras que el refuerzo suele ser de fibra, bien de carbono o de vidrio, o de minerales pulverizados.

Un ejemplo de plástico reforzado es la fibra de carbono, hecha por trazas de carbono similares al grafito. La fabricación de la fibra es muy susceptible a las temperaturas usadas en su calentamiento, por ejemplo, si se calienta entre 1500°C y 2000°C poseerá las mejores cualidades de resistencia mecánica, mientras que calentándolo entre 2500°C y 3000°C poseerá el mayor módulo de elasticidad posible.

El principal problema en la aplicación de la fibra de carbono es su alto coste energético en la fabricación, debido a su complejidad en el uso de las temperaturas de calentamiento. Es por ello que su uso está destinado exclusivamente a aplicaciones de gran importancia o vehículos o productos de alta gama. La energía aproximada requerida para su fabricación ronda los 169 MJ/kg de fibra de carbono [2].

También existe, como ya se ha mencionado, la fibra de vidrio, la cual es mucho menos costosa, su problema, una mayor densidad combinada con peores cualidades mecánicas.

Cauchos y gomas:

Comúnmente conocido como caucho, el caucho de estireno-butadieno (SBR) se utiliza para la fabricación de los neumáticos, juntas y correas, estando formado por un 75% de peso de estireno y un 25% de butadieno [2].

Se produce gracias a una emulsión en frío, a una temperatura de 50°C. El contenido emulsionado es estirado numerosas veces, para que, por un proceso de polimerización llegue a producir el SBR. El resultado es un látex el cual tiene el caucho, este se separa tratando el látex con una solución de sulfato de aluminio o una solución ácida de cloruro sódico, que nos da el caucho en forma de masa amorfa. Esta masa se lava, se seca y posteriormente se presiona entre rodillos, dándole la forma requerida de neumático.

La energía requerida para el proceso es de 35,9 MJ/kg de caucho. Existen procesos de reciclaje de ruedas mediante los cuales la energía se ve disminuida, a pesar de eso, la calidad del neumático decrece en gran medida, por lo que no es aconsejable ni merece la pena.

**Materiales para las baterías:****Plomo:**

El plomo es el material principal en la fabricación de las baterías de vehículos convencionales. Son baterías de bajo voltaje y de pequeño tamaño. Es posible extraer el plomo de varios minerales, pero el más común es el sulfato de plomo (PbSO_4).

La energía requerida por todo el proceso de obtención del plomo, sin incluir extracción del mineral, contando sólo el fundido del plomo para separarlo de la roca y refinado para obtener plomo puro, es de 22,3 MJ/kg de plomo. La contribución por la minería es de 2,7 MJ/kg de plomo.

La producción secundaria del plomo, a partir de materiales reciclados, es de aproximadamente 10 MJ/kg de plomo.

Níquel:

Es un nuevo modelo de batería, usado principalmente para vehículos híbridos. Actualmente está en desuso debido a la incorporación de las baterías de litio, con mejor funcionamiento, aun así, es una tecnología a tener en cuenta dada la cantidad de vehículos que todavía la equipan.

En su proceso de vaporización se genera un gran potencial. Para ello, reacciona el CO con el níquel a 50°C [2] formando tetra carbonilo de níquel (Ni(CO)_4) dejando restos e impurezas de cobalto, cobre y hierro. Para descomponer el tetra carbonilo de níquel formando níquel, se genera un calor de 230°C [2] para así obtener níquel al 99% de pureza. El tetra carbonilo de níquel es tóxico y puede ser mortal si se absorbe por la piel o se inhala, por ello, la fabricación es muy cuidadosa y peligrosa.

Existe otro método de refinamiento que se conoce como electro refinado, en donde se electroliza una solución para que el níquel sea depositado en el cátodo y el oxígeno producido en el ánodo

En estas baterías, el electrodo positivo o ánodo, utiliza finos platos de hidróxido de níquel Ni(OH)_2 en la superficie.

La energía consumida en este último proceso de electro refinado requiere de aproximadamente 67,5 MJ/kg de níquel [2].

Electrodos de hidruro de metal:

El electrodo negativo de una batería de níquel está formado por hidruros de metal como vanadio, titanio, zirconio, cromo y manganeso.

Debido a la variabilidad de metales usados para el electrodo negativo, no existen datos a ciencia cierta del consumo, pero algunas bases de datos los estiman en torno a 4,5 MJ/kg de metal al trabajo de minería y de 114 MJ/kg de metal al proceso de refinado [2].

Litio:

El litio suele proceder de dos fuentes distintas, de depósitos de espodumena y salmuera o de las salinas. Este es usado para la producción de la mayoría de las baterías de los vehículos eléctricos. Por motivos económicos, se suele obtener en mayor medida de la salmuera o de las salinas.

Para ello, el proceso de extracción de salmuera consiste en bombearla al exterior de los pozos subterráneos o de las salinas, cuya obtención procede de los lechos formados en lagos donde



gracias a la evaporación se concentró este material. Después, la salmuera recolectada se bombea a otro estanque donde se deja que el cloruro sódico cristalice. Este proceso se realiza de manera repetida, agotando y depositando las sales de sodio, de calcio y de magnesio, obteniendo una salmuera con concentración de 0,5% de litio que será distribuido a la planta de procesamiento para obtener el carbonato de litio (Li_2CO_3). Este proceso de obtención del litio tiene un consumo aproximado de 40,2 MJ/kg de carbonato de litio. [48]

La otra fuente de obtención, la espomudena consiste en aluminio inosilicato de litio ($\text{LiAl}(\text{SiO}_3)_2$). Esta producción se abandonó casi en su totalidad en el momento en que se descubrió que la producción a partir de la salmuera era menos costosa. El motivo del alto coste era, que una vez se había realizado todo el trabajo de minería y obtenido el mineral, este debía ser calentado hasta los 1000°C [48] para la obtención de la estructura molecular requerida, cuando, con el uso de ácido sulfúrico se obtienen sales de litio.

Materiales para pilas de combustibles:

Para este caso, dada la actual demanda de tipo de pila de combustible, se va a analizar únicamente la pila fabricada con una membrana de intercambio de protones, ya que es la más interesante para esta aplicación.

Materiales de la membrana:

La membrana, como ya se comentó en la descripción de las pilas de combustible, está fabricada por un polímero de intercambio de protones como puede ser el Nafion (Nombre comercial). Este polímero tiene la habilidad de permitir el paso de iones previniendo la conducción de electrones.

La energía consumida para la fabricación del Nafion se estima entre 12,7 MJ/kg y 13 MJ/kg en función de si es un polímero formado por ácido perfluorosulfónico suspendido sobre carbono o un trozo de ácido perfluorosulfónico puro.

Materiales del hardware:

El hardware consiste en los materiales de soporte, diseñados para mejorar y maximizar el flujo de hidrógeno hacia la membrana de intercambio de protones. Las capas exteriores suelen estar fabricadas con papel de carbono poroso o telas de carbono, estas conducen los electrodos del ánodo al cátodo. La energía estimada en la fabricación y en todo este proceso es de 596,6 MJ/kg de carbono [2] con lo cual, es mucho más degradable que la fabricación del resto de productos.

Estas capas suelen estar recubiertas de politetrafluoretileno, conocido comercialmente como Teflón. Sirve para asegurarse que la porosidad del carbono no es obstruida, evitando el funcionamiento de la pila. Se estima un consumo de 86,2 MJ/kg de teflón. [2]

Catalizador (metales del grupo de platino):

Para la reducción de la temperatura de operación de la pila, se usa un catalizador que reduzca el esfuerzo de la reacción de oxidación reducción del hidrógeno. Ambos lados de la pila están recubiertos por un catalizador, mejorando su rendimiento.

Este catalizador suele estar hecho de metales del grupo del platino ya que son los materiales más aptos, como pega, el alto coste de producción y valor económico de estos.



La energía consumida en el proceso de minería puede variar desde los 12,3 MJ/kg de platino hasta los 60 MJ/kg de platino dependiendo del valor de mercado.

El resto de procesos para la fabricación del platino tienen valores demasiados variados, algunos estudios estiman que consumen aproximadamente 207,7 MJ/kg de platino (software TEAM). Sin embargo, un estudio alemán estima la energía en 87,1 MJ/kg de platino. [2]

Otros materiales:

Existen otros materiales, como el cobalto, el manganeso o el óxido de litio que participan en la fabricación del vehículo, pero a diferencia del resto, se utilizan en cantidades mínimas por lo que su efecto será tan reducido que no se tendrá en cuenta en el análisis. Además, la ausencia de datos dificulta su aplicación en el análisis.

3.2.2 ETAPA DE FABRICACIÓN:

Una vez concluida la obtención y el tratamiento de los materiales, se debe pasar a la etapa de fabricación, en esta etapa se procede al conformado de todas las piezas y componentes del vehículo. Para ello habría que tener en cuenta todos los aspectos y estaciones de una planta de fabricación y montaje de vehículos y sus distintas fases.

La consideración de cada uno de los procesos y la cuantificación de los mismos se hace realmente difícil al tener, la etapa de fabricación, muchas variaciones en los componentes incluidos. Es por ello, que se realizará una aproximación de los mismos.

Para considerar adecuadamente toda la fase constructiva del vehículo, se procede al estudio de la cadena de montaje del automóvil y así, realizar el estudio de todas las fases constructivas por las que este pasaría.

Cadena de montaje del automóvil.

En primer lugar, se procedería a la fabricación de las piezas mediante sistemas de mecanizado. Aquí habría que tener en cuenta algunos como la embutición y el troquelado, principalmente usado para la producción de la carrocería, la fundición o el forjado, más empleado para partes del sistema de potencia y de transmisión.

La energía consumida durante el estampado se puede asumir como 5,1 MJ/kg de material estampado aproximadamente. Para el moldeado de las fundiciones, es más variable teniendo en cuenta el metal usado, siendo de 55,3 MJ/kg para el aluminio y de 32 MJ/kg para el hierro. El forjado por su parte, es un proceso también bastante intenso, consume en torno a 45,1 MJ/kg. La fabricación del cable de cobre consume en torno a 7,1 MJ/kg, aun así, el dato dado en la obtención de materias ya incluía este valor, ya que incluía todo el proceso. El mecanizado de piezas puede ser variable en función del material a mecanizar y su dureza, por ello, el dato es sólo una aproximación dada una media, siendo esta de 2,015 MJ/kg. [1]

La soldadura y el pintado puede que sean los procesos de ensamblado más intensos en la fabricación del vehículo, consumiendo durante la soldadura de todo el vehículo unos 920 MJ y en el pintado 4167 MJ. También habría que considerar el aporte de calor durante el ensamblado, que consume 3110 MJ, la climatización por bomba de calor que mantiene las condiciones de temperatura de la fábrica para garantizar las posibilidades de trabajo y otros aspectos y el uso de la iluminación, consumiendo 3335 MJ y por último el uso de aire comprimido, bien para limpieza o para operación de algunas máquinas, que es de 1380 MJ. [1]



En el caso de los plásticos, hay que tener en cuenta el consumo de su moldeo. Para el moldeo de cauchos y termoestables, el consumo varía de 12,9 MJ/kg a 4,79 MJ/kg respectivamente. El moldeo por inyección es un poco más intenso, consumiendo 26,4 MJ/kg para el polipropileno. El moldeo por soplado empleado en el polietileno de alta densidad es de 19,7 MJ/kg, mientras que la extrusión para darle forma de tubo sería de 7,03 MJ/kg. [1]

Para tener en cuenta todos los aspectos, hay que considerar el mecanizado de todas las piezas del vehículo y así, tener en cuenta la energía consumida por cada máquina.

Después del mecanizado o conformado de las piezas, algunas de las piezas fabricadas necesitan ser manipuladas con tratamientos que mejoren sus propiedades mecánicas, según el uso que se les vaya a dar, tratamientos tales como la nitruración, la cementación, algunos tratamientos térmicos como el recocido, etc.

Con todas las piezas ya fabricadas, se procedería a su ensamblado. Dentro de una cadena de montaje, este se lleva a cabo de forma paralela para las distintas partes generales del vehículo para posteriormente, realizar un ensamblado final. Durante el ensamblado, cabe destacar el gasto existente de energía para los procesos de pintado y soldadura de la carrocería.

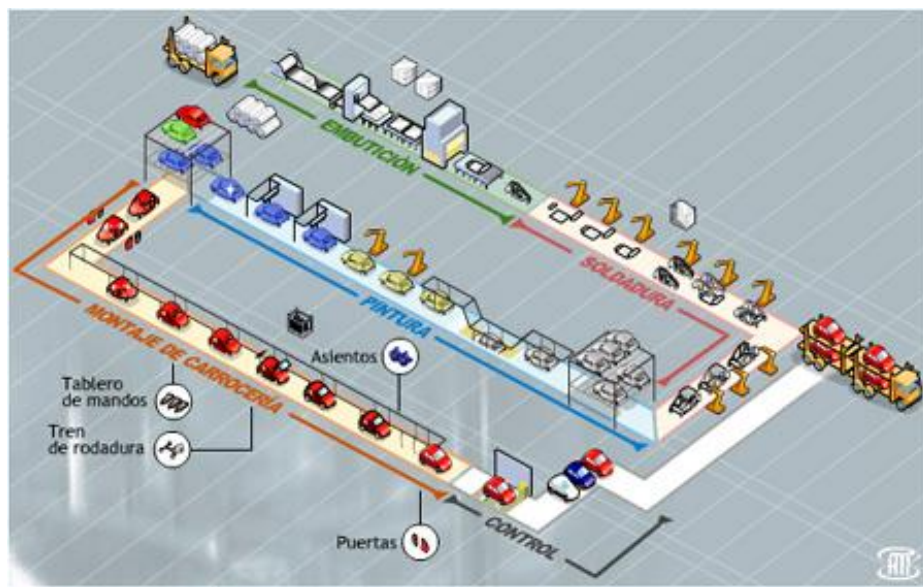


Figura 14. Cadena de montaje de un automóvil. Fuente [apuntes de automóviles]

En el presente trabajo se va a dar la energía total consumida para la producción y ensamblado de unas determinadas partes generales para cada vehículo, como un subtotal dentro del total de fabricación del vehículo. Estas partes generales no tienen porque estar incluidas en todos los vehículos, pudiendo ser su aportación al consumo energético del vehículo nulo. Las partes a tener en cuenta son:

Cuerpo del vehículo:

El cuerpo del vehículo está formado por lo que se conoce como BIW (Body in white) que se refiere a la estructura primaria de la carrocería del vehículo. Después se le incorporarían los paneles del cuerpo, tales como puertas, paneles del techo o paneles del interior. Para acabar la estructura metálica habría que incorporar los paragolpes o barras de absorción de impactos y todos los componentes restantes del hardware del vehículo, cuya parte más destacable sería la batería, con la considerable adición de energía que produce para vehículos híbridos y eléctricos.



Por último, dentro de lo que es el exterior del cuerpo del vehículo, habrá que considerar las ventanas y partes de cristal, los elementos exteriores, tales como elementos aerodinámicos, espejos y cubre parachoques, la pintura consumida para el pintado de la carrocería, con todo el gasto de imprimación y capas de protección, las luces y focos, y elementos de amortiguación y sellado de la cabina.

En el interior tendríamos las partes de aislamiento interno y del habitáculo como módulos del panel de instrumentos, los elementos cobertores de panel de luces, posabrazos y demás elementos dirigidos al confort de los pasajeros. Los módulos internos de las puertas, que incluyen palanca de apertura y control de la ventana, los asientos y todo lo que corresponde para el funcionamiento de su anclaje y el mecanismo de su movimiento, los sistemas de climatización y los controles electrónicos del vehículo.

Unidad de potencia:

En la unidad de potencia podemos incluir el motor de combustión en el caso de tenerlo, teniendo en cuenta sus sistemas de inyección, de lubricación y de generación de electricidad. Los sistemas de la pila de combustible, con todos sus subcomponentes. Los sistemas de almacenamiento de combustible, incluyendo bombas, filtros y depósito de combustible. Los sistemas de refrigeración del motor, radiador, circuito de agua, bomba y ventilador. Sistema de escape de gases, con catalizador y silenciador, sistemas eléctricos del motor, que incluye sensores y cableados de control y una centralita. Y, por último, hoy en día se incluyen sistemas para el control de los gases de escape, de forma que la contaminación sea mínima.

Sistema de transmisión:

En cualquier automóvil se incluye una unidad de transmisión, que puede incorporar una caja de cambios, un convertidor de par y los controles del mismo. Para los vehículos que incorporan un motor de combustión convencional, la unidad de transmisión es muy importante y requiere de mucho trabajo al tener que disponer de varias relaciones de marcha. En el caso de los vehículos con funcionamiento de motor eléctrico pesa aproximadamente una tercera parte [2] ya que no utiliza relación de marchas ni caja de cambios.

Chasis:

En este caso se consideraría diferenciado por la plataforma de la base, donde se sostiene el vehículo, el eje de transmisión, el diferencial, brazos de la suspensión, sistema de frenos, ruedas y neumáticos, sistema de la dirección y los sistemas eléctricos de control en los componentes mencionados.

Sistema de motor de tracción:

Consistente en el motor eléctrico encargado de impulsar el vehículo y de sus sistemas de funcionamiento y control.

Generador:

El generador es un convertidor que sirve para transformar la energía cinética del vehículo en energía eléctrica, consistiría en un inverter y el propio motor.

Controlador electrónico:

Controla la potencia del motor y las baterías.

**Sistemas auxiliares de la pila de combustión:**

Consiste en el depósito de hidrógeno comprimido, en el sistema de suministro de agua, sistema de suministro de aire, sistema de refrigeración y el sistema de tuberías y de escape de vapor.

3.2.3 ETAPA DE USO:

Una vez determinada la energía en la construcción, a continuación, se estudiará la energía consumida en su utilización. En esta etapa se considerará la energía consumida por el vehículo en su funcionamiento. No se tendrá en cuenta la energía consumida en la obtención de las piezas de recambio o averías, dado que estas dependen en gran medida del uso dado del vehículo y del tipo de pilotaje desarrollado por el conductor.

Para el análisis de la energía consumida durante el uso, habrá de tenerse en cuenta la energía consumida durante la producción del combustible o del tipo de energía generada para el movimiento del vehículo.

Para ello nos basaremos en los datos a nivel europeo de las producciones de energía eléctrica y de combustible. Después, con una media de consumos homologados para los distintos tipos de vehículos analizados y con una media de vida para cada tipo de tecnología, en función de su duración habitual, se calculará la energía consumida durante el uso del vehículo durante su vida útil.

3.3 CICLO DE VIDA DEL COMBUSTIBLE:

Conocido en inglés como “Well – to – Pump” (Del Pozo a la Bomba) o “Well – to – Tank” (Del Pozo al Depósito), consiste en un análisis del ciclo de vida del combustible. Para ello, al igual que se hizo con el análisis del ciclo de vida del vehículo, habrá que analizar las etapas de obtención de materias, fabricación y transporte del combustible, según el tipo de combustible, e incluir dicha energía en la energía consumida por el vehículo.

3.3.1 GASOLINA Y DIÉSEL:

La gasolina es procedente del crudo o petróleo, al igual que el diésel. El petróleo consiste en un líquido denso e inflamable, procedente de organismos muertos como algas o zooplancton. Estos organismos quedaron enterrados hace años bajo rocas sedimentarias, sometidos a grandes presiones y a elevadas temperaturas durante siglos, produciendo a través de su estructura orgánica, el petróleo.

A continuación, se va a proceder a la explicación del proceso de obtención de los combustibles como la gasolina y el diésel.

Extracción petróleo:

Para la producción de la gasolina, en primer lugar, es necesaria la localización de pozos petrolíferos con la calidad necesaria. Para ello se lleva a cabo un análisis de las cuencas sedimentarias del alojamiento del petróleo, aparte de una caracterización de yacimientos en términos de porosidad y estructuras permeables. Una vez determinada la ubicación de la excavación, se procede a su realización y a la extracción del crudo.

Procesamiento:

Se procede al refinado del petróleo básico, de forma que los componentes son separados por sus diferentes puntos de ebullición durante el proceso de destilación. A este proceso se le han



añadido, con el paso de los años, abundantes procesos intermedios, de forma que el rendimiento sea mayor y exista un mejor aprovechamiento de la materia. Esto se debe a que el cambio total del proceso del refinado sería más costoso y complejo, por lo que se siguen aprovechando las refinerías ya construidas, aunque desfasadas, optimizando los procesos.

Además, habría de tenerse en cuenta la calidad del petróleo, ya que un determinado petróleo puede requerir menos procesamiento que otros, cuando un petróleo es más espeso y/o agrio, se necesitan un mayor procesamiento.

Aun así, hay que tener en cuenta que en el proceso del refinado no todo el petróleo puede ser modificado y separado químicamente para obtener las gasolinas, es por ello que las refinerías modernas poseen un mayor índice de obtención de gasolina mientras que las antiguas desaprovechan una mayor cantidad del petróleo, sea la calidad que sea.

A continuación, se explicarán los procesos que se llevan a cabo durante el refinado del petróleo, aunque no todos son usados en un mismo refinado, es posible una multitud de combinaciones.

Destilación:

Trata del fraccionamiento del petróleo debido a los diferentes puntos de ebullición existentes en la materia. Para la mejora de este proceso, se ha incorporado el uso del vacío durante la destilación, así, el rendimiento y el calor requerido para el proceso es considerablemente menor que la destilación atmosférica. Lo único que requiere este proceso es calor, procedente bien de petróleo o de coque.

Craqueo catalítico o craqueo catalítico fluido:

Consiste en la aplicación de calor en presencia de un catalizador que rompa las moléculas de gran tamaño en unas más pequeñas. Gracias a esto se incrementa la obtención de fracciones de gasolina y diésel sin tanto gasto de coque y petróleo, en otras palabras, incrementa el rendimiento del refinado.

Hidrocraqueo catalítico:

Se realiza un proceso similar al craqueo catalítico, pero con la adición de hidrógeno que contribuye a la descomposición molecular y a su vez, elimina impurezas formando gases. Estos habría que tenerlos en cuenta al ser dañinos con el medio ambiente.

El proceso únicamente requiere calor, con este, se produce vapor que se mezcla con metano (CH_4) [28] reaccionando así y produciendo hidrógeno gasificado.

Hidrotratamiento:

También conocido como desulfuración, es un tratamiento muy similar al hidrocraqueo. Sirve para eliminar impurezas como el contenido de azufre. Se produce a través de una reacción de forma que se obtenga un compuesto de azufre más sencillo de separar. El proceso de adición del gas de hidrógeno, es similar al hidrocraqueo, con la diferencia de que las condiciones son más suaves y a menor temperatura.

Reformado catalítico:

Consiste en catalizar las naftas en presencia de calor de forma que la estructura molecular se reordene dando un producto con un octanaje considerablemente superior. Se realizan diversos



procesos de reformado que den como producto la gasolina y como subproducto, hidrógeno, que puede ser usado en otros procesos del refinado.

Isomerización:

Proceso necesario en la producción del petróleo, de forma que aumentemos el octanaje de las naftas en presencia de un catalizador.

Alquilación:

Se emplea un fuerte ácido catalizador y elevadas temperaturas, de forma que se produce una mezcla de distintas parafinas que se pueden usar como aditivos del petróleo.

Craqueo termal o visbreaking:

Con la aplicación de calor, podemos mejorar los hidrocarburos pesados, rompiendo su estructura molecular y transformándolos en residuos más ligeros. Con ello, reducimos la viscosidad de los residuos a partir de la rotura de los enlaces moleculares.

Proceso de obtención de coque:

Los hidrocarburos pesados se fraccionan formando unos residuos de menor densidad en ausencia de oxígeno, de forma que los compuestos más volátiles del petróleo son evaporados. De ahí, se obtienen hidrocarburos que pueden ser usados para producir gasolina y otros productos o el coque para generar calor en la propia refinería

Obtención y transporte:

Una vez concluidos todos los procesos, se obtendrían los combustibles a usar, gasolina y diésel. La gasolina es procedente de las destilaciones ligeras, como las naftas ligeras, mientras que el diésel es producido de destilaciones más pesadas.

La gasolina tiene una densidad aproximada de 745 kg/m^3 y un poder calorífico de $43,2 \text{ MJ/kg}$, con un contenido en carbono del 86,4%. En comparación, el diésel posee unas cualidades de combustible más pesado, con 832 kg/m^3 y un poder calorífico de $43,1 \text{ MJ/kg}$. Además de un contenido en carbono del 86,1%. [28]

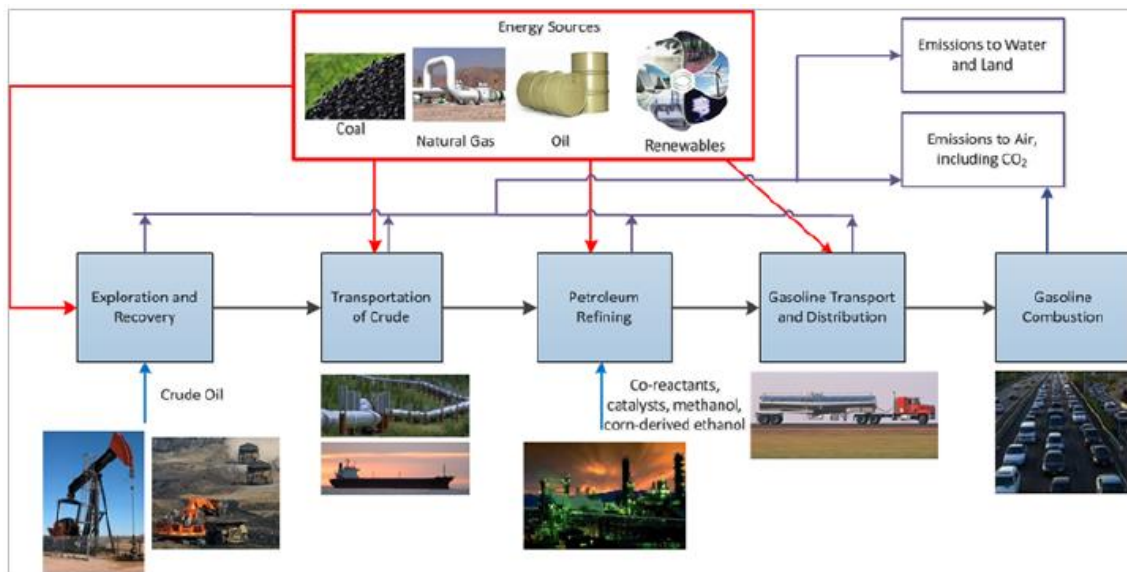


Figura 15. Esquema de los pasos de procesamiento del petróleo (ejemplo de gasolina). Fuente [46]

3.3.2 HIDRÓGENO:

Existen múltiples formas de obtener el hidrógeno separado de los elementos que lo contienen en la naturaleza. Por ello es difícil cuantificar con exactitud el consumo energético durante la obtención del mismo. Se van a explicar los procesos existentes para la obtención del hidrógeno.

Electrólisis del agua:

Una de las más antiguas conocidas consiste en la electrólisis del agua, que es la gran reserva de hidrógeno de nuestro planeta. Es un proceso sencillo y fácil de realizar, el problema reside en que la energía eléctrica requerida para su realización es abundante y difícil de conseguir por lo que resulta un proceso muy costoso. Además, para que fuese un proceso totalmente renovable, dicha energía tendría que ser procedente de fuentes renovables como la eólica o la solar. Sólo el 4% [27] de la producción de hidrógeno es realizada de esta manera.

Reforma de hidrocarburos:

Hoy en día, la opción más viable de obtención de hidrógeno es a partir del gas natural. Se obtiene a través del “reformado con vapor”, que consiste en romper las moléculas de gas con vapor de agua en presencia de un catalizador. Es la opción más limpia hoy en día en la producción de hidrógeno a partir del uso de combustibles fósiles. Actualmente ocupa el 48% [27] de la producción mundial del hidrógeno.

Otra opción, y la más antigua, es el reformado del carbón convirtiéndolo en gas, para ello es necesario calentarlo a 900°C. Con ello se obtiene un gas con hasta el 60% de hidrógeno. Actualmente, representa el 18% [27] de la producción mundial de hidrógeno. Dada la gran cantidad de carbón existente en el planeta, es una tecnología alternativa a tener en cuenta en la producción del hidrógeno incluso cuando se comiencen a desarrollar tecnologías limpias.

De forma generalizada, el reformado de los hidrocarburos puede servir para la formación del hidrógeno, tal y como se realiza en las refinerías. En resumen, el 30% de la producción se basa en el reformado de la gasolina. [27]



Todos estos sistemas actuales de reformado de hidrocarburos producen gases de efecto invernadero, por lo que nunca se podrán considerar una tecnología realmente limpia. Debido a esto, el objetivo actual es la producción del hidrógeno a partir de agua y electricidad de origen renovable.

Fotoelectrólisis:

Se está desarrollando la posibilidad de la fotoelectrólisis, que consiste en la inmersión de una célula fotovoltaica en el agua, de forma que actúe como electrolizador, consiguiendo rendimientos y eficiencias mayores que con la electrolisis convencional.

Otros métodos:

Paralelamente, se están investigando dos tecnologías de producción mediante el uso exclusivo de fuentes renovables, sin incluir la electricidad. Una de ellas es la gasificación de la biomasa, que, aunque es un poco más cara que el reformado del gas, es de carácter renovable. Consistiría en el tratamiento de hidrocarburos procedentes de la biomasa como el biodiésel o el bioetanol.

Otra opción es utilizar energía térmica, alcanzando la no despreciable cifra de 2000°C [27] podríamos producir lo que se conoce como la hidrólisis térmica que, a fin de cuentas, consiste en separar los átomos de hidrógeno y de oxígeno, constituyentes del agua, para obtener el hidrógeno puro. A día de hoy, la opción de realizar este proceso consiste en el uso de la energía nuclear, con nuevos reactores de alta temperatura. Las energías renovables no son capaces de alcanzar estas temperaturas por lo que no es posible aún su utilización. A pesar de eso, en un futuro se espera que, con reacciones intermedias, sea posible su realización a unos 850°C [27] lo que permita la hidrólisis a partir de energías renovables y así, ser una tecnología totalmente limpia.

Como ha quedado claro, los procesos de obtención del hidrógeno existentes hoy en día siguen siendo costosos. Esto, sumado al alto coste de fabricación de las pilas de combustible, tecnología más extendida en el automovilismo, y a la dificultad de su almacenamiento, hace que aún no sea posible sus aplicaciones, pero sí, una gran alternativa futura.

Además, al problema de la obtención de hidrógeno puro, cabe comentar las dificultades de su almacenaje para su disfrute. Al ser el hidrógeno el elemento más ligero del planeta, la densidad del gas de hidrógeno es muy baja, por lo que su energía volumétrica también. Para poder hacer uso de esta de una manera eficiente se necesita alcanzar fuerzas de compresión altísimas, de forma que se incremente lo suficiente la energía volumétrica y, por tanto, la autonomía del vehículo. Otra opción sería el licuado a partir de una reducción de temperatura, enfriándolo hasta -253°C, lo que resulta inviable energéticamente. El desarrollo de materiales de fibras de carbono está permitiendo alcanzar hasta 700 bares de presión, que permiten almacenar una cantidad aceptable de hidrógeno.

3.3.3 ELECTRICIDAD:

En primer lugar, en el proceso de obtención de la electricidad se ha de obtener las materias primas con las cuales se producirá la energía, tales como combustibles fósiles, o materias de biomasa. En este trabajo se despreciará todo lo correspondiente a la construcción de las distintas centrales, ya que no es cuantificable de manera sencilla y sería equivalente para todas las tecnologías, es decir, supondremos las centrales ya producidas y en perfecto estado.



Son numerosas las fuentes de origen de la electricidad si tenemos en cuenta las renovables y las no renovables. Para tener en cuenta todo el consumo primario de energía en obtener dicha electricidad, se realizará un mix adecuado en función de los porcentajes y del consumo energético en cada una de las fuentes de obtención.

La producción energética española tiene las siguientes fuentes con el peso correspondiente de cada una de ellas:

En primer lugar, se situaría la producción de energía renovable a partir de la energía eólica, que corresponde con el 28,3% de la producción total española. Es procedente de la energía cinética contenida en el movimiento del viento que, al girar las aspas de los molinos destinados a tal fin, generan electricidad de carácter totalmente renovable. [38]

La segunda fuente de mayor peso sería la energía nuclear, procedente de bien la fusión o bien la fisión de los átomos radiactivos. Se corresponde con el 20,2% de la producción total, por lo que sigue siendo de gran importancia. La ventaja de esta fuente de energía reside en la escasa cantidad de residuos que producen, en comparación con las centrales térmicas convencionales. El mayor inconveniente es el peligro de dichas centrales. [38]

Después vendría la hidráulica, procedente principalmente de grandes ríos y embalses, en los cuales, gracias a unas turbinas generan electricidad. La región española destaca por ser una zona montañosa y de grandes relieves, por lo que se pueden aprovechar todos estos saltos a los que les corresponden una gran energía potencial y que generan el 16,9%. A su vez, saltos de menor tamaño son utilizados para una menor producción correspondiente al 3,2%. [38]

Las centrales térmicas (tanto turbinas de gas como de vapor) y las de cogeneración, centrales en las que se produce dos o más tipos de energía, por lo general, en forma de electricidad y en forma de calor. Esto se debe al aprovechamiento del calor residual en la generación para alimentar sistemas de calefacción o similares. Se corresponde con el 11,6% del total de generación española. [38]

Seguido están las centrales de carbón, similares a las térmicas, pero con uso de coque en las calderas y de menor rendimiento que las anteriores. Supone el 9,4% del total. Después vendrían las centrales de uso de gas natural, un combustible fósil más limpio, con el 6,6%. La térmica renovable, procedente de la biomasa, la solar fotovoltaica con un 1,7% y la solar térmica con un 0,4%. [38]

En lo que correspondería al ciclo de vida de la electricidad, esto sería de generación, con el reparto porcentual de cada una de las formas de generación. A esto habría que añadirle después el siguiente punto del ciclo, equivalente a la distribución eléctrica, ya que las pérdidas energéticas durante este proceso no son nulas ni despreciables, por lo que habrá que tenerlas en cuenta.

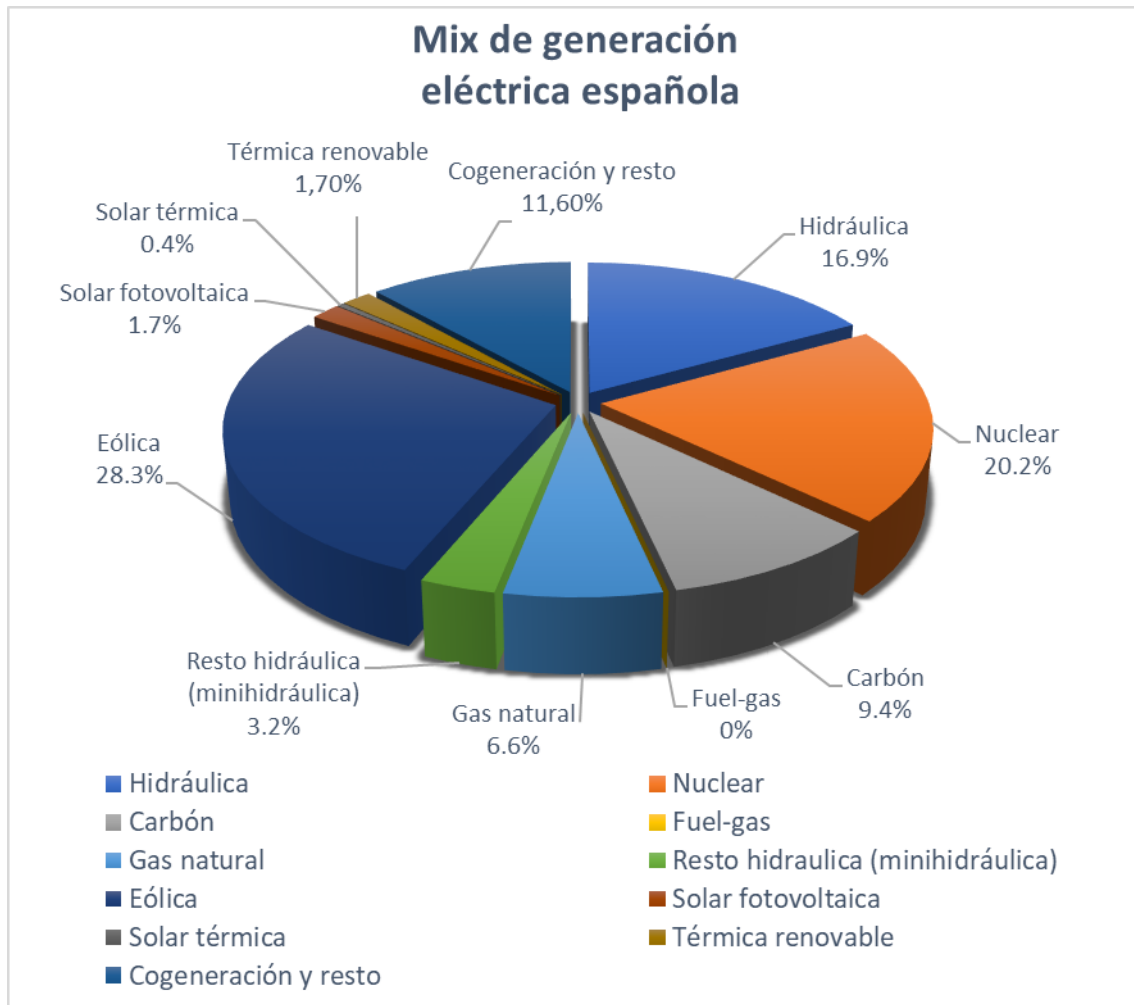


Figura 16. Mix de generación eléctrica española. Fuente [38]

3.3.4 GASES LICUADOS DEL PETRÓLEO (GLP):

El GLP es un combustible utilizado para numerosas funciones como por ejemplo el uso doméstico de calefacción o cocina o incluso de aplicaciones industriales como en las refinerías. Realmente, el menor uso dado de este combustible es el de combustible para automóviles. Tiene la cualidad de ser un combustible económico, dado su bajo coste, y sostenible medioambientalmente, de forma que las emisiones producidas por su quema son relativamente bajas respecto a otros combustibles de origen fósil.

El GLP es un subproducto proveniente de dos posibles fuentes, las refinerías del petróleo, donde se originan estos gases durante los tratamientos dados al petróleo, y durante la producción del gas natural y los procesamientos que este requiere.

Está formado por hidrocarburos, consistentes en propano, butano, propileno y butileno, en distintas proporciones según el petróleo de origen. Es gaseoso en condiciones ambientales, lo que nos lleva a la problemática de su conversión a estado líquido para su uso automotriz y su facilidad de almacenamiento.

Tiene la facilidad respecto a otros gases, como en el ejemplo del hidrógeno, de que sólo son necesarios 2,5 MPa [39] de compresión para su licuefacción en el caso del propano, o un máximo de 8 bares [40] en el caso de otras proporciones de hidrocarburos. Si se llevara a cabo por



temperatura, la reducción de esta no debería ser excesiva. Por lo que, el consumo energético asociado a su licuefacción, no es excesivo.

Una vez disponemos del GLP como gas licuado para su posible uso, y almacenado, se procede a su transporte hacia las gasolineras distribuidoras correspondientes, esto conlleva un consumo asociado a tener en cuenta. Una vez ahí, en determinadas gasolineras, el GLP se a bajas temperaturas, por lo que se llevaría a cabo la compresión para el almacenamiento en estado líquido.

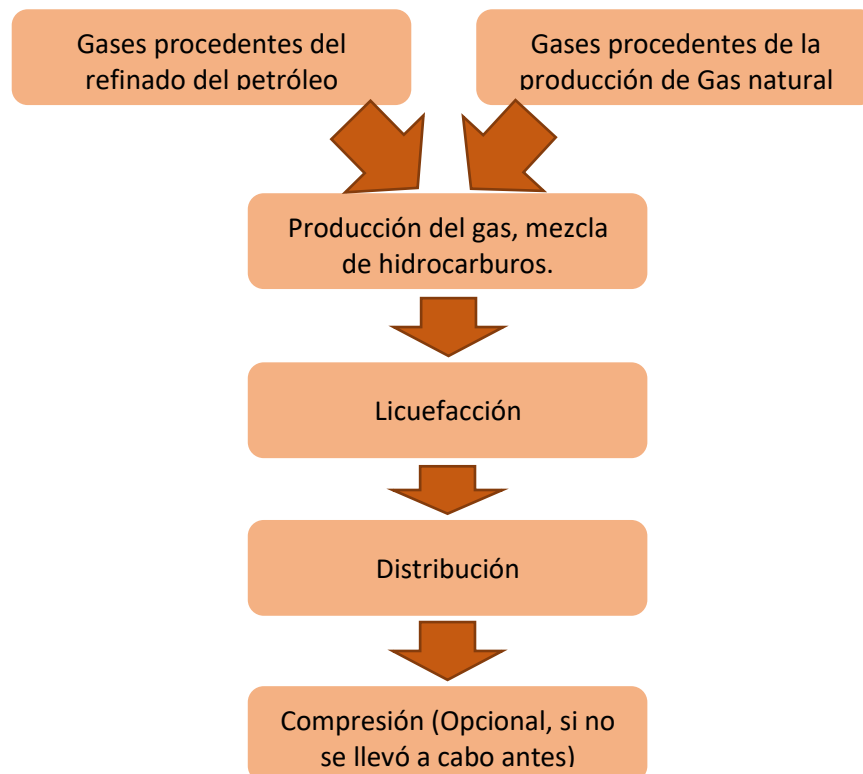


Figura 17. Proceso de obtención del GLP

Los procesos requeridos para la producción del GLP no son excesivos, ya que proviene del tratamiento de otras materias, por lo que el consumo asociado a su ciclo de vida es el más reducido de todos los combustibles fósiles.

3.3.5 GAS NATURAL:

Como ya se mencionó en la descripción, en el mundo del automovilismo, lo habitual es el uso del gas natural comprimido y no licuado, dadas las complicaciones del mantenimiento de la temperatura en el caso de enfriar el gas hasta licuarlo. Por lo tanto, sólo se tendrá en cuenta, en el presente trabajo, la utilización del gas natural comprimido.

Durante la vida del gas natural, lo primero sería la extracción. Dicha extracción puede ser procedente de tres ubicaciones según el pozo del que se extraiga. Puede ser extraído, bien de los pozos petrolíferos, que almacenan gas del propio petróleo, bien de pozos de gas natural propios o incluso de lechos de carbón, donde existe metano procedente del propio carbón.

Una vez extraído, ha de ser transportado a la fábrica o industria donde se llevaría a cabo su procesamiento. Para ello, usualmente se disponen de largos recorridos de tuberías por los que el gas circularía, siendo el consumo energético durante el proceso, mínimo, siempre que no se



contabilice la fabricación de dichas tuberías. En este recorrido, cuando el gas se extrae de pozos petrolíferos, lo que circula es una mezcla de petróleo, propano y butano con gas natural lo que induce a la necesidad de su separación.

Además, durante el propio recorrido, se lleva a cabo su procesamiento, lo que significa que se eliminan las impurezas como el azufre, el mercurio, el nitrógeno y el dióxido de carbono. Antes de su distribución, en fábrica se asegura la composición del gas de forma que cumpla con las especificaciones requeridas.

Después de que el gas haya sido tratado y limpiado de impurezas, se distribuye para su uso, tanto industrial, como residencial, como particular en el uso del automovilismo. En el uso como combustible de vehículos, el gas natural es comprimido para su almacenaje, lo que incluye un paso extra dentro del ciclo de vida, y, por lo tanto, un consumo extra de energía.

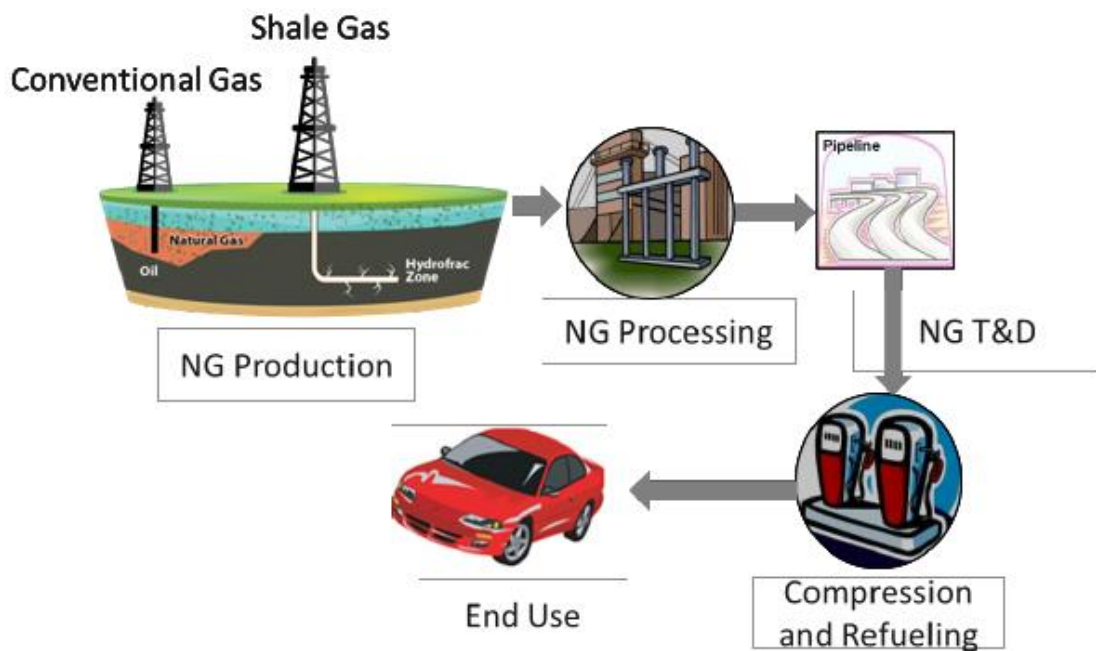


Figura 18. Esquema y pasos para la obtención del GNC. Fuente [46]

3.3.6 BIODIÉSEL:

El biodiésel es obtenido a partir de los aceites vegetales o grasas animales, y concretamente, a los triglicéridos contenidos en ellos. Es por eso que, el primer paso en el ciclo de vida del biodiésel sería la agricultura y todo el proceso de cuidado de los cultivos destinados a los biocombustibles. Este es un paso realmente difícil de cuantificar si se quiere tener en cuenta cualquier situación, como el uso de pesticidas o de determinadas maquinarias.

En un futuro, es probable que las prácticas agrícolas, en base a su mejora y su progresión se establezcan de manera unificada y podamos cuantificar la energía consumida de manera más acertada.

Una vez terminada la extracción de las materias a usar se procede a la molienda de estas para la producción del aceite vegetal en caso de ser una producción primaria. Este es sometido a tratamientos de desgomado, filtración, neutralización y secado para obtener un aceite refinado, sin sólidos en suspensión y apto para la producción del biodiésel.



Figura 19. Esquema proceso de refinado de aceite. Fuente [42]

En caso de ser producción secundaria a partir de aceite usado y grasas animales (productos no aceptables para el consumo humano) se le somete a un proceso de refinado más severo y, por ende, de mayor consumo energético. Además, suele requerir un proceso extra de reducción de la acidez.

A continuación, se iniciaría el proceso de estas para convertirlas en combustible. Cada materia requiere de un procesamiento ligeramente diferente y tendrá una cantidad de triglicéridos distinta, por lo que cada una consumirá una cantidad de energía variable. A pesar de eso, todos ellos requieren de un mismo proceso de transesterificación.

Consiste en una técnica de reducción de la viscosidad, ya que el uso directo de los aceites vegetales como combustible es una imposibilidad debido a la alta viscosidad de estos. Existen otros métodos menos usados al ser más degradantes medioambientalmente como es la microemulsificación, la pirólisis y la disolución.

La transesterificación o alcoholólisis es la reacción de un triglicérido con un alcohol, generalmente metanol, para formar ésteres metílicos y glicerol. Durante la reacción, gracias a la aparición de un catalizador por las condiciones supercríticas de esta, o la inclusión de un catalizador como el hidróxido de sodio o metilato de sodio, se rompe la molécula de aceite y así se provoca una combinación de un éster con una molécula de alcohol, para dar como resultado el biodiésel, y como subproducto, la glicerina. El rendimiento del aceite durante la reacción es casi del 100% [42] por lo que se obtendrá casi la misma cantidad de biodiésel que de aceite introducido.

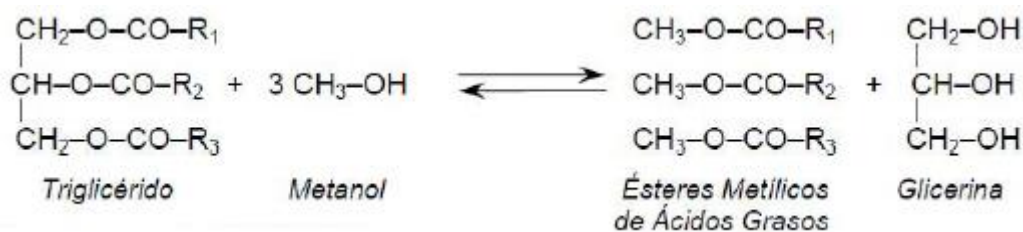


Figura 20. Reacción de transesterificación. Fuente [36]

Después de la reacción de transesterificación procedemos a la separación de los ésteres metálicos o biodiésel de la glicerina y de otras impurezas como jabones, aceite que no llega a reaccionar mezclado con metanol y restos del catalizador. Este se realiza mediante un reposo controlado durante un periodo relativamente largo.

Con los ésteres ya separados se realiza una purificación de los mismos, separando el exceso de alcohol introducido que mejora el rendimiento y la calidad. Una vez se haya obtenido un



biodiésel ya lavado y con gran calidad, se le deja reposar durante varios días de forma que seque y quede en condiciones de uso.

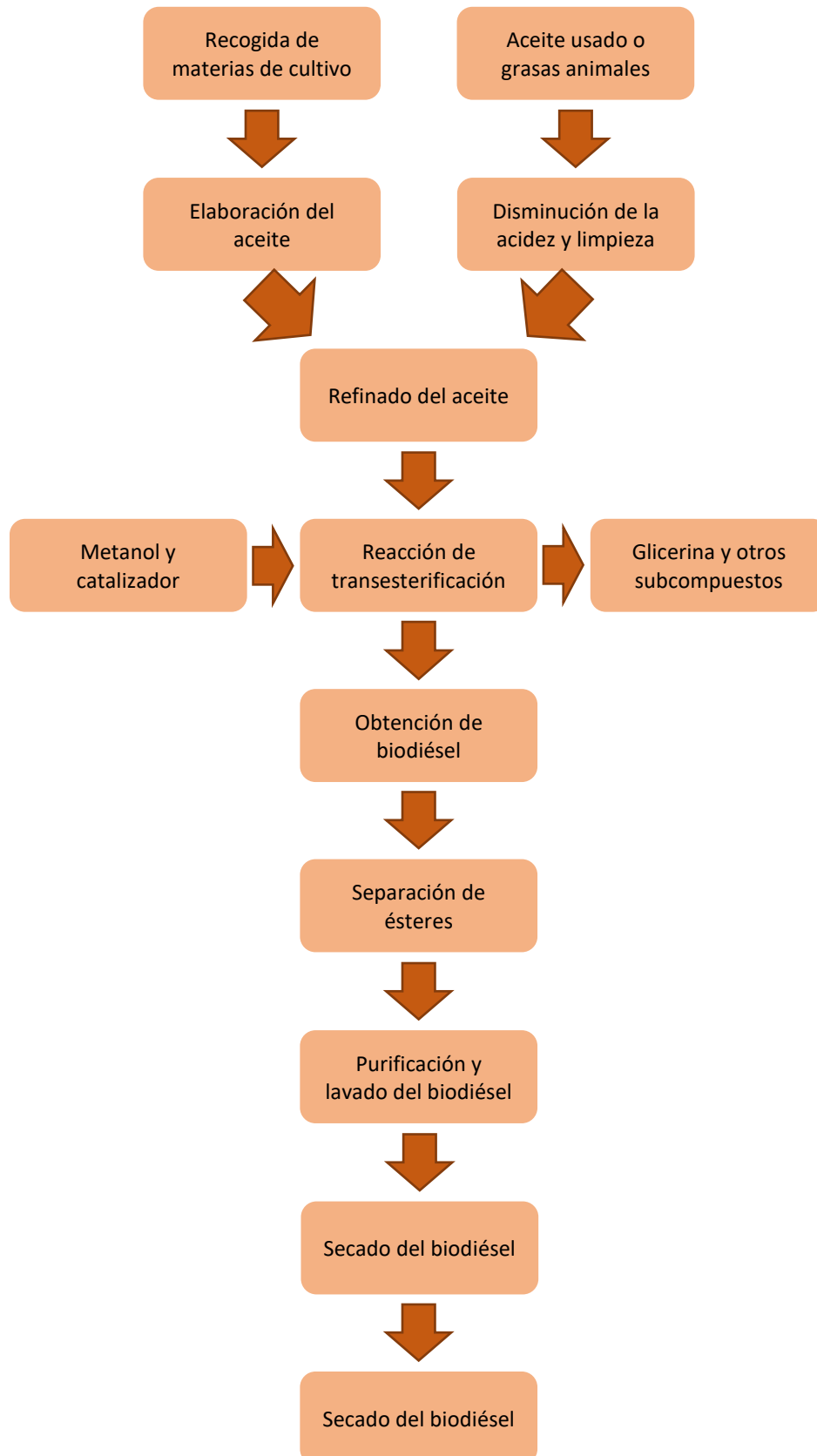


Figura 21. Esquema de obtención del biodiésel.



El biodiésel puede ser procedente de la colza, el girasol, la soja, el aceite de palma, el aceite vegetal puro, el aceite vegetal usado y la grasa animal. Para realizar un estudio totalmente acertado, habría que tener en cuenta todas las posibles procedencias de cultivo o de si es de grasa animal y las diferencias durante su extracción y producción, así como el porcentaje de uso de dichas procedencias en la producción del biodiésel

En este trabajo, dicha diferenciación no se va a tener en cuenta, sino que, según la energía necesaria dada por los estudios y bases de datos para las distintas procedencias, se realizará una media del valor energético consumido para producir el biodiésel.

3.3.7 BIOETANOL:

El bioetanol, al igual que el biodiésel se obtiene de la agricultura. Sin embargo, este se obtiene del azúcar y el almidón presentes en el trigo, el maíz, la remolacha y la caña de azúcar. Es por eso que habría que tener en cuenta en primer lugar el proceso de obtención de los elementos constituyentes del bioetanol. Esto incluye también la correspondiente agricultura de los cultivos necesarios y las recogidas de las materias.

Una vez concluida la extracción de materias, estas se hacen pasar por una molienda que trituren las materias para separar el azúcar y el almidón contenido en estos. El azúcar y almidón se hidrolizan de manera que se obtiene la glucosa. Existen dos tipos de moliendas para la elaboración del almidón o el azúcar. La molienda húmeda, en la cual el producto permanece en remojo anteriormente a su trituración. Después del triturado, debido a una solución ligeramente ácida, se libera el almidón o el azúcar. La molienda seca, en la cual se trituran directamente las materias, produciendo una harina que se hidroliza o se convierte en sacarosa con una enzima o con una disolución ácida, después, la mezcla se enfría y se le añade levadura para que fermente.

Gracias a esta fermentación provocada por la levadura, se obtiene el etanol de la glucosa obtenida junto con pequeñas proporciones de otros bioalcoholes como el acetaldehído, el glicerol y los alcoholes de fusel. Además de etanol y bioalcoholes, una parte importante de la reacción de fermentación produce dióxido de carbono. Estos gases son retirados y enviados a una torre de absorción donde se recupera el 98% del etanol arrastrado. [41]

A continuación, se lleva a cabo un proceso de separación y deshidratación, en el cual se recupera el etanol del caldo de fermentación al 99,5% de pureza [41]. Esto se lleva a cabo en dos procesos, el primero es remover el CO_2 disuelto en el caldo, enviándolo a una torre de absorción, y eliminar a su vez el agua, obteniendo un destilado al 50% de etanol [41]. En esta parte también se mezcla el etanol recuperado de los gases anteriores que los arrastraron. En la segunda parte se realiza una concentración de etanol hasta obtener una mezcla azeotrópica, donde el agua restante se elimina mediante absorción de vapor.

Por último, se realiza un tratamiento que consiste en un tren de evaporación que concentra sólidos solubles y otros componentes poco volátiles contenidos en la mezcla para poder ser eliminados totalmente y conseguir un etanol con la mayor pureza posible.

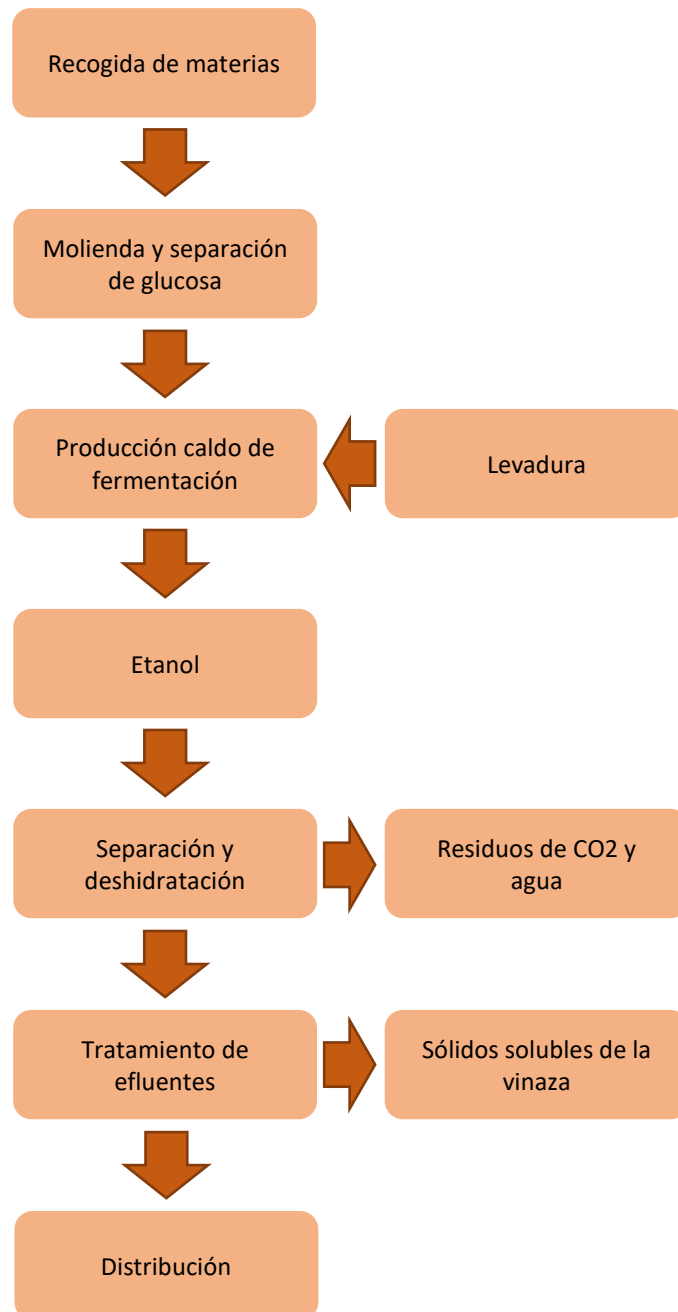


Figura 22. Esquema de obtención del etanol



4. RESULTADOS:

Una vez conocidos los parámetros a cuantificar mediante el análisis del ciclo de vida y el alcance de estos se procedería al desarrollo y el cálculo de las distintas materias a comparar. Para ello, se establecerán distintos criterios equivalentes, de forma que la comparativa sea de, en este caso, vehículos semejantes y entre los cuales exista una rivalidad de funcionalidad y fabricación.

En el presente trabajo, la movilidad que será examinada será la correspondiente a un vehículo de tamaño medio y de bajo coste, de manera que se acerque lo máximo posible al vehículo medio en la población española, es decir, los que más abundan en las calles, todo ello teniendo en cuenta las últimas tecnologías y desarrollos. Para ello se basará en la clasificación de vehículos definida según la Directiva 2007/46/CE que establece las categorías y subcategorías de vehículos de la población española (Ver Anexo I). Para este trabajo se tomará la siguiente categoría y subcategoría:

Categoría M: Trata de los vehículos de motor de al menos cuatro ruedas destinados, principalmente, al transporte de personas y equipajes.

Categoría M1: Son los vehículos de categoría M con un máximo de ocho plazas, excluyendo la del conductor.

Este trabajo examinara un vehículo de tamaño medio y un peso aproximado entre 1400 y 1500 kilogramos, con un consumo eficiente y una vida media según cada caso, aproximada a los 200000 kilómetros.

Los resultados obtenidos para cada tecnología se expondrán a continuación de forma que se muestren los valores obtenidos en las distintas etapas del ciclo de vida para realizar posteriormente una comparativa que nos determine el vehículo más eficiente.

4.1 VEHÍCULO DE GASOLINA:

4.1.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:

La fabricación de un vehículo de gasolina es relativamente simple comparándola con la del resto de vehículos examinados. En el caso del vehículo de gasolina, de entre las subcategorías mencionadas en la fabricación, sólo habría que considerar la energía para la fabricación del cuerpo del vehículo, la unidad de potencia, cuyo producto de mayor importancia es el motor de explosión, la del sistema de transmisión y la del chasis.

El análisis se basa en la consideración de varios resultados de la energía de fabricación total, ya obtenidos en otros estudios. Con ellos, se obtendrá un valor medio que cuantifique de la manera más acertada posible el valor de la energía para distintas formas de fabricación. En base a un consumo porcentual del total aproximado, se verá la importancia de cada elemento del vehículo para obtener así más detalle del consumo.

A continuación, se muestran los valores de energía total obtenidos, estos son variables en función de algunos materiales incluidos según las características de los vehículos, variables en función de las tecnologías empleadas en el proceso de fabricación y también en función de las maquinarias usadas y su rendimiento.



Tabla 2. Energía de fabricación vehículo de gasolina.

		Fuente
Energía total de fabricación	65800,00 MJ	[5]
	77600,00 MJ	[9]
	75300,00 MJ	[9]
	65100,00 MJ	[9]
Valor medio	70950,00 MJ	

Dentro del valor total obtenido de la energía, podemos obtener la energía consumida para las distintas partes constructivas del vehículo. De entre todas esas partes, la más intensa sería la fabricación del cuerpo del vehículo, el cual incluye un exhaustivo ensamblaje de todos sus componentes mediante un gran uso de la soldadura, proceso de alto consumo, aparte de mucho trabajo de embutición y corte durante la fabricación de las piezas.

Tabla 3. Energía para la producción de los componentes de un vehículo de gasolina.

Producto	Energía (MJ)	Porcentaje de la energía total de fabricación %	Fuente
Cuerpo del vehículo	24761,55 MJ	34,90%	[2]
Unidad de potencia	18801,75 MJ	26,50%	[2]
Sistema de transmisión	7804,50 MJ	11,00%	[2]
Chasis	19582,20 MJ	27,60%	[2]
Motor de tracción	0,00 MJ	0,00%	[2]
Generador	0,00 MJ	0,00%	[2]
Controlador electrónico	0,00 MJ	0,00%	[2]
Sistemas auxiliares de la pila de combustión	0,00 MJ	0,00%	[2]

4.1.2 ETAPA DE USO

En primer lugar, para tener en cuenta el consumo energético durante el uso, se requieren los valores de poder calorífico y densidad del combustible. En el caso de la gasolina, dichos valores se muestran a continuación de forma que podamos obtener su poder calorífico por unidad de volumen.

Tabla 4. Datos de la gasolina.

Magnitud	Dato	Fuente de información
Poder calorífico	43,20 MJ/kg	[28]
Densidad	745,00 kg/m ³	[28]
Poder calorífico, función del volumen	32,18 MJ/L	

En lo que respecta a la energía primaria consumida por la gasolina para su fabricación, se dispone de varios valores obtenidos por la agencia francesa de medio ambiente y gestión energética (ADEME). Por ello, para este trabajo se obtendrán dichos valores obteniendo un valor medio que satisfaga los posibles consumos de energía establecidos para la energía total empleada para la fabricación del combustible. A todo esto, habría que añadirle la energía almacenada en dicho combustible, que posteriormente será empleada para producir energía mecánica de empuje del vehículo.



Tabla 5. Datos de energía primaria de fabricación de la gasolina.

	Consumo energético	Fuente
<i>Extracción y fabricación combustible</i>	1,220 MJ(EP)/MJ(Fuel)	[29]
	1,140 MJ(EP)/MJ(Fuel)	[29]
	1,150 MJ(EP)/MJ(Fuel)	[29]
<i>Valor medio</i>	1,170 MJ(EP)/MJ(Fuel)	

En lo que corresponde a la fase de uso y del movimiento del vehículo, se ha obtenido un valor medio de consumo correspondiente a los consumos homologados y establecidos según el IDAE, para obtener un consumo medio para el tipo de vehículo examinado. Se han usado vehículos de distintos pesos y potencias, para así, englobar lo máximo posible el mercado de vehículos actual, y con las tecnologías actuales más vanguardistas para una comparativa mejor y más realista.

Tabla 6. Consumo de vehículos de gasolina

Vehículo	Consumo	Fuente
<i>MAZDA 3 1.5G de 1250 kg</i>	5,00 L/100km	[43]
<i>Mercedes-Benz Clase CLA 180 de 1395 kg</i>	5,70 L/100km	[43]
<i>Audi A5 SPORTBACK MY18 1.4 TSI 110KW 1460 kg</i>	5,40 L/100km	[43]
<i>Valor medio</i>	5,37 L/100km	

Con el consumo ya obtenido, se calcularía el consumo energético durante toda su vida útil. Para ello, se usarían los datos del combustible mostrados anteriormente con la adición de la energía consumida para su fabricación.

También habría que establecer una vida útil para dicho vehículo, aunque esto es un valor muy variable en función del uso del propietario y sus cuidados. El trabajo estará basado en una vida media de uso para cada tecnología.

Tabla 7. Vida útil del vehículo de gasolina.

		Fuente
<i>Vida útil</i>	210000,00 km	[4]
	211250,00 km	[5]
	300000,00 km	[9]
<i>Valor medio</i>	240416,67 km	

Con ello, y con la siguiente ecuación, se obtiene el valor del consumo energético por el vehículo durante toda su vida útil.

$$PC_{Vol} \left(\frac{MJ_{fuel}}{L} \right) \cdot \text{Energía del fuel} \left(\frac{MJ_{E.prim}}{MJ_{fuel}} \right) \cdot \frac{\text{Consumo} \left(\frac{L}{km} \right)}{100} \cdot \text{Vida útil}(km) \quad (1)$$

Así se obtendría un valor de consumo de 425638.03 MJ durante el periodo de uso del vehículo. A estos datos no se le han añadido el consumo correspondiente al mantenimiento de las condiciones del vehículo, tales como averías, cambios de piezas y demás.



4.1.3 RESULTADO FINAL:

Sumando la energía correspondiente a la etapa de fabricación del vehículo junto con el valor del uso calculado anteriormente, se obtendría el valor total de la energía consumida durante su vida útil, que sería de 485842,020 MJ.

Finalmente, se calcularía el valor del consumo energético por kilómetro para tener así una cuantificación más realista que tenga en cuenta la vida total del vehículo de cara a una mejor comparativa entre vehículos.

Tabla 8. Resumen de resultados para un vehículo de gasolina.

Resumen vehículo de gasolina		
Etapa	Energía	Influencia sobre el total
Fabricación	70950,00 MJ	12,743 %
Uso	485842,020 MJ	87,257 %
Total	556792,020 MJ	
Total, por kilómetro recorrido	2,316 MJ/km	

4.2 DIÉSEL:

4.2.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:

La fabricación del vehículo diésel es muy parecida a la fabricación de los vehículos de gasolina. Así, los vehículos de diésel y gasolina son los más sostenibles en su fase de fabricación. Esto se debe a que son tecnologías muy implantadas y que se han evolucionado lo suficiente como para ser de fabricación sencilla y económica.

Al igual que en el vehículo de gasolina, el vehículo diésel está compuesto únicamente por el cuerpo del vehículo, la unidad de potencia, donde residirá su principal diferencia respecto al vehículo de gasolina, el sistema de transmisión y el chasis.

Se realizará una media del valor total de la energía, y con ello, se calculará la energía empleada en cada componente del vehículo. A continuación, se mostrarán los valores de energía correspondientes a la fabricación y la extracción de materias.

Tabla 9. Energía de fabricación vehículo diésel

		Fuente
<i>Energía total de fabricación</i>	69200,00 MJ	[5]
	68400,00 MJ	[9]
<i>Valor medio</i>	68800,00 MJ	

Como se hizo con el vehículo de gasolina, en base a un porcentaje de influencia del consumo se puede calcular el consumo de los subcomponentes del vehículo.



Tabla 10. Energía para la producción de las partes de un vehículo diésel.

Producto	Energía (MJ)	Porcentaje de la energía total de fabricación %	Fuente
<i>Cuerpo del vehículo</i>	24011,20 MJ	34,90%	[2]
<i>Unidad de potencia</i>	18232,00 MJ	26,50%	[2]
<i>Sistema de transmisión</i>	7568,00 MJ	11,00%	[2]
<i>Chasis</i>	18988,80 MJ	27,60%	[2]
<i>Motor de tracción</i>	0,00 MJ	0,00%	[2]
<i>Generador</i>	0,00 MJ	0,00%	[2]
<i>Controlador electrónico</i>	0,00 MJ	0,00%	[2]
<i>Sistemas auxiliares de la pila de combustión</i>	0,00 MJ	0,00%	[2]

4.2.2 ETAPA DE USO:

Primero se recolectan los datos del diésel, datos de poder calorífico y densidad para poder calcular el poder calorífico en función del volumen.

Tabla 11. Datos del diésel.

Magnitud	Dato	Fuente de información
<i>Poder calorífico</i>	43,10 MJ/kg	[28]
<i>Densidad</i>	832,00 kg/m ³	[28]
<i>Poder calorífico/litro</i>	35,86 MJ/L	

Para el cálculo de la energía primaria consumida por el combustible empleamos datos obtenidos por la agencia francesa de medio ambiente y gestión energética además de los datos incluidos en la base de datos de Ecoinvent para realizar una media que aproxime el consumo primario energético. En dichos datos, al igual que en los de gasolina, vendrá ya la energía contenida en el combustible que posteriormente, gracias a su quema, provocará el movimiento del vehículo.

Tabla 12. Datos de energía primaria de fabricación del diésel.

		Fuente
<i>Extracción y fabricación combustible</i>	1,250 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[29]
	1,160 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[29]
	1,090 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[29]
	1,160 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[10]
	1,172 MJ(EP)/MJ(Fuel)	[44]
<i>Valor medio</i>	1,166 MJ(EP)/MJ(Fuel)	

Como puede verse, la producción del diésel es un poco menos intensa que la de la gasolina. Aun así, son muy parecidas al estar sometidas casi a los mismos procesos. Evidentemente, el proceso de mayor consumo es el del refinado, siendo este de aproximadamente 0,10 MJ [10], mientras que en la extracción se consumen 0,03 [10], en el transporte a la planta de procesamiento 0,01 [10] y 0,02 [10] en la distribución a los puntos de venta.



A esto hay que añadirle el consumo del vehículo, para ello, como ya hicimos con el vehículo de gasolina, se han de buscar varios vehículos de distintos pesos y con tecnologías actuales, para así, englobar al máximo el mercado actual a través de un consumo medio.

Tabla 13. Consumo del vehículo diésel

Vehículo	Consumo	Fuente
Audi A5 COUPÉ 2.0 TDI 110KW de 1590 kg	4,20 L/100km	[43]
MAZDA 3 1.5 de 1270 kg	3,80 L/100km	[43]
Mercedes-Benz Clase CLA 200d de 1395 kg	4,40 L/100km	[43]
Valor medio	4,13 L/100km	

Con el consumo ya obtenido, sólo faltaría la vida útil del vehículo, la cual corresponderá al valor medio de los obtenidos en los distintos estudios que se muestran a continuación.

Tabla 14. Vida útil vehículo diésel.

		Fuente
Vida media	210000,00 km	[4]
	238750,00 km	[5]
	300000,00 km	[9]
Valor medio	249583,33 km	

Por lo tanto, con la fórmula ya descrita en el apartado del vehículo de gasolina (1) se calcula el consumo del vehículo diésel. Este análisis no incluye el consumo del mantenimiento del vehículo ni de las posibles reparaciones.

Con ello se obtiene un resultado para la fase de uso del vehículo de 431483,426 MJ el cual es considerablemente menor al de la gasolina. Esto se debe al mayor rendimiento de los motores diésel respecto a los motores de gasolina, lo que se traduce en un menor consumo.

4.2.3 RESULTADO FINAL:

A la energía consumida durante la fase de uso habría que añadirle la energía consumida para la fabricación del vehículo. Con todo, resultaría tener un consumo total de energía de 500283,426 MJ. Después, se calcula la energía consumida por kilómetro recorrido para una mejor comparativa en base a su vida útil.

Tabla 15. Resumen de resultados para un vehículo diésel

Resumen vehículo de diésel		
Etapas	Energía	Influencia sobre el total
Fabricación	68800,000 MJ	13,752 %
Uso	431483,426 MJ	86,248 %
Total	500283,426 MJ	
Total, por kilómetro recorrido	2,004 MJ/km	



4.3 PILA DE COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO:

4.3.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:

La producción de los vehículos propulsados por una pila de combustible de hidrógeno es mucho más exhaustiva que las tecnologías convencionales. Además, los datos de fabricación son muy difusos, debido principalmente a lo poco extendida que está dicha tecnología. En el caso del uso del hidrógeno como combustible de combustión, la energía usada para su fabricación sería mucho más parecida a la de los vehículos convencionales. Aun así, dicha tecnología no se va a examinar al no ser de interés por su alto consumo energético en la fase de uso y al no estar siendo desarrollada por las marcas y fabricantes.

En este caso, los subcomponentes o partes del vehículo que habrá que considerar serán: los generalizados, como el cuerpo del vehículo, la unidad de potencia, en este caso compuesta por una pila de combustible y los subcomponentes para su uso, el sistema de transmisión y el chasis. Por otra parte, también se encuentran las partes específicas de este tipo de vehículo como el motor eléctrico de tracción, que será el encargado de transformar la energía eléctrica y enviarla a las ruedas en forma de energía mecánica, el controlador electrónico y los sistemas auxiliares de la pila de combustible.

A continuación, se muestra una tabla con los valores obtenidos de fabricación de un vehículo de pila de combustible. Como ya se ha mencionado, los valores son muy difusos al no ser una tecnología muy extendida.

Tabla 16. Energía de fabricación vehículo de pila de combustible

	Fuente		Comentarios
<i>Energía total de fabricación</i>	96000,00 MJ	[8]	
	125600,00 MJ	[9]	Con materiales vírgenes
	78000,00 MJ	[9]	Con materiales vírgenes y reciclados
<i>Valor medio</i>	99866,67 MJ		

Como puede verse, existe una gran variabilidad de resultados en función de los materiales usados. En este tipo de vehículos tiene gran importancia todos los sistemas relativos a la pila de combustible, ya que son sistemas aún en desarrollo y de difícil fabricación. A continuación, se muestra la importancia de cada uno de los componentes.

Tabla 17. Energía para la producción de las partes de un vehículo de hidrógeno.

<i>Producto</i>	<i>Energía (MJ)</i>	<i>Porcentaje de la energía total de fabricación %</i>	<i>Fuente</i>
<i>Cuerpo del vehículo</i>	25366,13 MJ	25,40%	[2]
<i>Unidad de potencia</i>	18075,87 MJ	18,10%	[2]
<i>Sistema de transmisión</i>	3195,73 MJ	3,20%	[2]
<i>Chasis</i>	19873,47 MJ	19,90%	[2]
<i>Motor de tracción</i>	4494,00 MJ	4,50%	[2]
<i>Generador</i>	0,00 MJ	0,00%	[2]
<i>Controlador electrónico</i>	3695,07 MJ	3,70%	[2]
<i>Sistemas auxiliares de la pila de combustión</i>	25166,40 MJ	25,20%	[2]



4.3.2 ETAPA DE USO:

Para el cálculo de la etapa de uso son necesarios los datos del hidrógeno. Este tiene la cualidad de poseer un mayor poder calorífico que cualquier combustible fósil, lo que le confiere la capacidad de dotar al vehículo de energía mecánica sin apenas gasto. El único problema reside en su baja densidad que dificulta su almacenamiento y disminuye en exceso la energía contenida por unidad de volumen en condiciones ambientales.

Tabla 18. Datos del hidrógeno

Magnitud	Dato	Fuente
<i>Poder calorífico</i>	121,00 MJ/kg	[31]
<i>Densidad</i>	0,08 kg/m ³	[31]
<i>Poder calorífico/litro</i>	0,01 MJ/L	

Como muestra la tabla, la energía contenida en un litro de hidrógeno en condiciones ambientales es asombrosamente baja, lo que nos dificulta mucho su uso como combustible. Aun así, como ya se ha explicado, las condiciones de uso vienen siendo bajo altas presiones posibilitando una autonomía de conducción aceptable.

A esto habría que añadirle que, para la producción del gas de hidrógeno puro, ya que en nuestra atmósfera no es posible encontrarlo de forma libre sino mezclado con otros elementos, el consumo de energía es muy elevado. A continuación, se muestran los valores de las dos opciones planteadas, hidrógeno en forma de gas e hidrógeno licuado.

Tabla 19. Datos de energía primaria de fabricación de hidrógeno gasificado.

Proceso	Dato	Fuente
<i>Extracción y procesamiento</i>	0,04 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[10]
<i>Transporte de 1000 a 4000 km</i>	0,08 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[10]
<i>Distribución</i>	0,01 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[10]
<i>Reformado en central</i>	0,32 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[10]
<i>Distribución de gas y compresión</i>	0,22 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[10]
<i>Total</i>	0,67 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[10]

Si se produce y distribuye en forma de líquido facilita mucho el transporte, debido a ello, en ocasiones se plantea como una opción, pese a eso, el proceso es mucho más intenso y requiere de una mayor energía como se mostrará a continuación.

Tabla 20. Datos de energía primaria de fabricación de hidrógeno licuado.

Proceso	Dato	Fuente
<i>Extracción y procesamiento</i>	0,04 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[10]
<i>Transporte de 1000 a 4000 km</i>	0,08 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[10]
<i>Distribución</i>	0,01 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[10]
<i>Reformado en central</i>	0,32 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[10]
<i>Licuefacción</i>	0,67 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[10]
<i>Distribución de líquido</i>	0,04 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[10]
<i>Total</i>	1,16 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[10]



A estos datos habría que añadirles el consumo del megajulio contenido en el hidrógeno y empleado en el movimiento del vehículo. Como puede verse, su producción es mucho más intensa que los combustibles fósiles.

Después, habría que tener en cuenta el consumo del vehículo. No existen demasiados datos de consumo de vehículos de hidrógeno, debido principalmente a la falta de uso de esta tecnología. Con los datos de los que se dispone, se obtiene un valor medio del consumo con el que calcular el consumo energético en esta etapa del ciclo de vida.

Tabla 21. Consumo vehículo de hidrógeno.

Vehículo	Consumo	Fuente
Toyota Mirai	0,76 kg H ₂ /100km	[7]
Vehículo genérico	1,00 kg H ₂ /100km	[6]
Valor medio	0,88 kg H ₂ /100km	

Lo único que faltaría para el cálculo del consumo en la etapa de uso del vehículo sería la vida útil. Dicha vida útil es difícil de cuantificar, ya que no existen datos sobre la duración habitual al no haber todavía numerosos vehículos de hidrógeno en circulación. Por eso muchos estudios establecen la vida útil del vehículo, por el momento, en 300000 km. Aun así, en este trabajo se realizará una media entre la colección de valores tomados.

Tabla 22. Vida útil de un vehículo de hidrógeno.

		Fuente
Vida media	300000,00 km	[8]
	150000,00 km	[7]
	300000,00 km	[9]
	300000,00 km	[45]
Valor medio	262500,00 km	

Una vez teniendo todos los valores, se aplicaría un formula parecida a la aplicada hasta ahora, con la diferencia de unidades correspondiente al tener un consumo en función de la masa y no del volumen.

$$PC \left(\frac{MJ_{fuel}}{kg(H_2)} \right) \cdot Energía\ del\ fuel \left(\frac{MJ_{E,prim}}{MJ_{fuel}} \right) \cdot \frac{Consumo}{100} \left(\frac{kg(H_2)}{km} \right) \cdot Vida\ útil(km) \quad (2)$$

Con todos estos datos se obtendría el consumo energético del vehículo durante su etapa de uso, que sería de 466781,700 MJ. Este consumo podría ser más elevado si lo planteásemos como consumo de hidrógeno licuado. De todos modos, el uso de hidrógeno licuado en la industria de la automoción no se lleva a cabo, al necesitar unas temperaturas increíblemente bajas que incrementasen todavía más el consumo para su mantenimiento reduciendo así el rendimiento hasta hacerlo casi nulo.

4.3.3 RESULTADO FINAL:

Para finalizar, habría que sumar la energía de la etapa de uso con la energía consumida para la fabricación. Después, habría que poner la energía consumida por unidad de kilómetro de forma que se pueda realizar una mejor comparativa.



Tabla 23. Resumen de resultados para un vehículo de hidrógeno.

Resumen vehículo de hidrógeno		
Etapa	Energía	Influencia sobre el total
Fabricación	99866,667 MJ	17,624 %
Uso	466781,700 MJ	82,376 %
Total	566648,367 MJ	
Total, por kilómetro recorrido	2,159 MJ	

4.4 HÍBRIDO NO ENCHUFABLE (HEV):

En este trabajo se van a tener en cuenta dos tipos de vehículos híbridos, los enchufables y los no enchufables. Esta separación se va a realizar con el objetivo de comparar cuanta es la rentabilidad del uso de la electricidad originada por la propia energía cinética del vehículo, y la rentabilidad del uso de unas baterías recargadas a partir de una conexión a la red eléctrica.

Constructivamente son muy similares, ambos disponen de las partes generales, como era de esperar, tales como el cuerpo del vehículo, la unidad de potencia, el sistema de transmisión y el chasis. Además, debido a la parte eléctrica también tienen el motor de tracción eléctrico, el generador y el controlador electrónico.

Como son muy similares constructivamente, en este trabajo, el reparto de consumo para los componentes se considerará igual, salvando las distancias en el consumo total. La principal diferencia reside en el tamaño de las baterías, que en el caso de un vehículo híbrido enchufable serán de mayor tamaño para conseguir una mayor autonomía eléctrica.

4.4.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:

Como ya se ha dicho, la fabricación del HEV o híbrido no enchufable, es un poco menos intensa y de menor consumo que la del PHEV. Las baterías incorporadas son de menor tamaño al almacenar únicamente la energía obtenida mediante la transformación de la energía cinética del vehículo. Se ha realizado una media de los valores obtenidos de consumo debido a la variabilidad existente entre los materiales de uso y su procedencia, bien reciclados o vírgenes. También son variables debido al material de las baterías, en este caso es muy común encontrarlas de níquel o de litio.

Tabla 24. Energía de fabricación de HEV.

	Energía	Fuente	Comentarios
<i>Energía total de fabricación</i>	98000,00 MJ	[14]	Con batería de litio
	105000,00 MJ	[14]	Con batería de níquel
	114700,00 MJ	[9]	Materiales vírgenes
	66600,00 MJ	[9]	Materiales vírgenes y reciclados
<i>Valor medio</i>	76860,00 MJ		

Es una fabricación más sencilla que la del vehículo de hidrógeno, esto se debe a que la tecnología está más implantada en el marco social y desarrollada por los fabricantes, de forma que se han



podido desarrollar fabricaciones más económicas y en serie. A continuación, se muestra los valores de la fabricación de cada componente.

Tabla 25. Energía para la producción de los componentes del HEV

Producto	Energía (MJ)	Porcentaje de la energía total de fabricación %	Fuente
<i>Cuerpo del vehículo</i>	26977,86 MJ	35,10%	[2]
<i>Unidad de potencia</i>	12605,04 MJ	16,40%	[2]
<i>Sistema de transmisión</i>	8838,90 MJ	11,50%	[2]
<i>Chasis</i>	21367,08 MJ	27,80%	[2]
<i>Motor de tracción</i>	2459,52 MJ	3,20%	[2]
<i>Generador</i>	2459,52 MJ	3,20%	[2]
<i>Controlador electrónico</i>	1998,36 MJ	2,60%	[2]
<i>Sistemas auxiliares de la pila de combustión</i>	0,00 MJ	0,00%	[2]

4.4.2 ETAPA DE USO:

Para el uso en el caso del HEV sólo habría que considerar el uso de gasolina como combustible, al ser la electricidad usada, originada por el propio combustible y energía cinética del vehículo. Por ello los datos a emplear sobre combustible serían los ya dados en la tabla 4 con un poder calorífico por unidad de volumen igual a 32,18 MJ/L.

En lo que corresponde a la fabricación de la gasolina y a su consumo primario energético, también sería la misma media realizada anteriormente de valor 1,17 MJ(EP)/MJ(Fuel).

La diferencia con los vehículos de gasolina residirá principalmente en los consumos desarrollados por los vehículos híbridos, notablemente inferiores como se mostrará a continuación. Estos consumos son obtenidos a partir de los consumos homologados y establecidos en el IDAE:

Tabla 26. Consumos HEV

Vehículo	Consumo	Fuente
<i>Hyundai IONIQ HEV IONIQ HEV 1.6 105CV 32KW de 1.370 kg</i>	3,40 L/100km	[43]
<i>Lexus CT 200 h de 1465kg</i>	3,80 L/100km	[43]
<i>Toyota Prius de 1450 kg</i>	3,30 L/100km	[43]
<i>Valor medio</i>	3,50 L/100km	

Por último, para el cálculo en la etapa de uso se requiere de una vida útil. Para ello como en el resto de ocasiones, aplicamos una media establecida entre los valores dados.

Tabla 27. Vida útil HEV.

	Fuente
<i>Vida media</i>	150000,00 km [7]
	230500,00 km [6]
	300000,00 km [9]
<i>Valor medio</i>	226833,33 km



El cálculo, en este caso, se realizaría de forma equivalente al vehículo de gasolina, con la ecuación (1) y empleando los valores ya descritos. Aplicando la fórmula, se obtiene un resultado de 298951,544 MJ, considerablemente más reducido a los vehículos convencionales.

4.4.3 RESULTADO FINAL:

Para finalizar el ciclo de vida del vehículo híbrido (HEV) se ha de sumar el valor de la energía consumida en la etapa de uso y el valor de la energía en la etapa de fabricación. El resumen de resultados se da a continuación, donde ya aparece también el resultado comparativo de energía por kilómetro.

Tabla 28. Resumen de resultados para un vehículo híbrido no enchufable (HEV).

Resumen vehículo híbrido no enchufable		
Etapas	Energía	Influencia sobre el total
Fabricación	76860,000 MJ	20,452 %
Uso	298951,544 MJ	79,548 %
Total	375811,544 MJ	
Total, por kilómetro recorrido	1,657 MJ	

4.5 HÍBRIDO ENCHUFABLE (PHEV):

4.5.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:

La etapa de fabricación de un híbrido enchufable es un poco más intensa, debido a la diferencia de tamaño de las baterías. Esto, sumado a que su parte convencional ya es equivalente a la fabricación de un vehículo propio, hace que sea un vehículo realmente poco eficiente en su fabricación. No es tan común el uso de baterías de níquel como podía serlo en el híbrido no enchufable, pero se haya una variabilidad de resultados en su fabricación en función del tamaño de sus baterías.

En este caso se calculará un valor medio entre los valores de energía obtenidos en función de su batería y duración, dependiendo de si es PHEV20, PHEV60 u otros.

Tabla 29. Energía de producción del PHEV.

	Energía	Fuente	Comentarios
<i>Energía total de fabricación</i>	98000,00 MJ	[14]	PHEV 20
	124000,00 MJ	[14]	PHEV 60
<i>Valor medio</i>	111000,00 MJ		

Como reparto para los distintos componentes, se usará una distribución como la del híbrido no enchufable, al tener este una construcción similar. Así, en la siguiente tabla se mostrarán los valores de la energía consumida en los distintos componentes.



Tabla 30. Energía de producción por partes del PHEV.

Producto	Energía (MJ)	Porcentaje de la energía total de fabricación %	Fuente
<i>Cuerpo del vehículo</i>	38961,00 MJ	35,10%	[2]
<i>Unidad de potencia</i>	18204,00 MJ	16,40%	[2]
<i>Sistema de transmisión</i>	12765,00 MJ	11,50%	[2]
<i>Chasis</i>	30858,00 MJ	27,80%	[2]
<i>Motor de tracción</i>	3552,00 MJ	3,20%	[2]
<i>Generador</i>	3552,00 MJ	3,20%	[2]
<i>Controlador electrónico</i>	2886,00 MJ	2,60%	[2]
<i>Sistemas auxiliares de la pila de combustión</i>	0,00 MJ	0,00%	[2]

Evidentemente, estos valores variarían considerablemente en función del tamaño de las baterías, ya que es un proceso muy costoso y muy variable en este tipo de vehículos.

4.5.2 ETAPA DE USO:

En la etapa de uso de un PHEV, para el cálculo, es necesario añadir el gasto eléctrico que le corresponda al vehículo, ya que es una energía originaria de la red eléctrica. Por ello, aparte de los datos de la gasolina incluidos en las tablas 4 y 5 sobre la energía primaria de la gasolina es necesario incluir datos de energía primaria de electricidad, así como el consumo eléctrico del vehículo.

Acorde con el mix europeo de generación eléctrica los datos de energía primaria consumida serían los que se muestran a continuación.

Tabla 31. Energía primaria de generación eléctrica según mix europeo.

	Energía	Fuente
<i>Generación mixta en Europa electricidad</i>	1,84 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[10]
<i>Distribución</i>	0,03 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[10]
<i>Total</i>	1,87 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[10]

La energía eléctrica, al ser energía en sí, no requeriría de ninguna transformación a partir del poder calorífico. Los datos de consumo del vehículo también vienen en consumo energético, por lo que no haría falta ningún tipo de transformación. Además, no sería necesario incluir ningún megajulio contenido por no tener un fuel o combustible que almacene energía, simplemente con las baterías recargadas se transforma a energía mecánica.

A continuación, se muestran los consumos tanto de gasolina como de electricidad, una vez más, consumos homologados y establecidos por el IDAE. En el caso de los vehículos híbridos enchufables, los consumos son muy variables en función de la carga de sus baterías. Para este trabajo se tendrán en cuenta los consumos ideales, con baterías totalmente cargadas y un uso mínimo del motor de combustión.



Tabla 32. Consumos PHEV

Vehículos	Consumo de gasolina	Consumo de electricidad	Fuente
Volkswagen GOLF 1.4 TSI HÍBRIDO ENCHUFABLE de 1599kg	1,50 L/100km	11,40 kWh/100km	[43]
Audi A3 SPORTBACK E-TRON 1.4 TSI 110KW de 1540 kg	1,80 L/100km	8,80 kWh/100km	[43]
Hyundai IONIQ PHEV 1.6 44.5KW 1495 kg	1,10 L/100km	8,90 kWh/100km	[43]
Valor medio	1,467 L/100km	9,700 kWh/100km	

Por último, de los datos necesarios para el cálculo de su etapa de uso quedaría establecer una vida útil del vehículo. Esta, como en el resto de ocasiones, se hará a través de una media de entre las vidas establecidas por los distintos estudios.

Tabla 33. Vida útil PHEV.

		Fuente
Vida media	210000,00 km	[4]
	240000,00 km	[12]
	300000,00 km	[9]
Valor medio	250000,00 km	

A este vehículo se le aplicaría la ecuación (1) dada en el vehículo de gasolina, modificada de forma que también se tenga en cuenta el consumo eléctrico y que quedaría tal que así:

$$PC_{Vol} \left(\frac{MJ_{fuel}}{L} \right) \cdot Energía del fuel \left(\frac{MJ_{E.prim}}{MJ_{fuel}} \right) \cdot \frac{Consumo}{100} \left(\frac{L}{km} \right) \cdot Vida\ útil(km) + \frac{Consumo_{eléc}}{100} \left(\frac{kWh}{km} \right) * 3,6 \left(\frac{MJ_{eléc}}{kWh_{eléc}} \right) * Energía\ primaria \left(\frac{MJ_{E.prim}}{MJ_{eléc}} \right) * Vida\ útil(km) \quad (3)$$

Aplicando dicha ecuación se obtendría un resultado aproximado del consumo energético del vehículo, que sería de 301320,360 MJ. Muy similar al consumo obtenido por un vehículo híbrido no enchufable.

4.5.3 RESULTADO FINAL:

Por último, obtenemos el valor del consumo total para su ciclo de vida y el valor del consumo energético por kilómetro recorrido por el vehículo de forma que sea posible realizar la comparativa.

Tabla 34. Resumen de resultados para un vehículo híbrido enchufable

Resumen vehículo híbrido enchufable		
Etapas	Energía	Influencia sobre el total
Fabricación	111000,00 MJ	26,921 %
Uso	301320,360 MJ	73,079 %
Total	412320,360 MJ	
Total, por kilómetro recorrido	1,649 MJ	



4.6 ELÉCTRICO:

4.6.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:

La fabricación de un vehículo eléctrico es de las más exhaustivas y costosas desde el punto de vista energético. Que las baterías sean el único almacenamiento de energía disponible del vehículo implica que estas deben de ser de un tamaño considerable para garantizar su autonomía.

La parte ventajosa del vehículo eléctrico respecto a los híbridos, consiste en una arquitectura más sencilla al no disponer este de tantos componentes. Entre ellos se encuentra el cuerpo del vehículo, de forma que las baterías hacen que sea el componente principal en cuanto a consumo energético, el sistema de transmisión, mucho más simplificado al no disponer de una caja de cambios, el chasis, un poco más complejo de lo convencional al tener que estar preparado para la sustentación de baterías y de construcción un poco más moderna, y por último las partes específicas de un vehículo eléctrico como son, el motor de tracción eléctrico y los controladores electrónicos del sistema de propulsión.

Para el trabajo se han obtenido varios valores de energía de fabricación en función del origen de sus materiales. Con ellos, se realiza un valor medio simulando un vehículo que parte de su fabricación es a partir de materiales reciclados y parte materiales vírgenes. A continuación, se muestra el valor medio aplicado a este tipo de vehículo.

Tabla 35. Energía de fabricación del vehículo eléctrico

	Energía	Fuente
<i>Energía total de fabricación</i>	80400,00 MJ	[9]
	119000,00 MJ	[9]
	102000,00 MJ	[12]
<i>Valor medio</i>	99700,00 MJ	

De este valor, que se observa que es un poco menor que el vehículo híbrido enchufable por no disponer de unidad de potencia, se dispone entonces de los valores de energía consumida para cada componente que se muestran a continuación.

Tabla 36. Reparto de energía por componentes del vehículo eléctrico.

Producto	Energía (MJ)	Porcentaje de la energía total de fabricación %	Fuente
<i>Cuerpo del vehículo</i>	59221,80 MJ	59,40%	[10]
<i>Unidad de potencia</i>	0,00 MJ	0,00%	[10]
<i>Sistema de transmisión</i>	2891,30 MJ	2,90%	[10]
<i>Chasis</i>	32003,70 MJ	32,10%	[10]
<i>Motor de tracción</i>	2991,00 MJ	3,00%	[10]
<i>Generador</i>	0,00 MJ	0,00%	[10]
<i>Controlador electrónico</i>	2592,20 MJ	2,60%	[10]
<i>Sistemas auxiliares de la pila de combustión</i>	0,00 MJ	0,00%	[10]

Como puede verse, el proceso más costoso sin lugar a dudas es la fabricación del cuerpo del vehículo, en el cual se incorporan las baterías.



4.6.2 ETAPA DE USO:

En este caso, la etapa de uso sólo consideraría el consumo eléctrico del vehículo. Para ello, se usarían los valores de energía primaria obtenidos e incluidos en la tabla 29.

Después, sería necesario establecer el consumo eléctrico del vehículo. Al no tener demasiados datos en el IDAE, tal y como sí se tienen para otras tecnologías, se obtienen los datos de distintos autores como los que se muestran a continuación en la tabla.

Tabla 37. Consumo vehículo eléctrico. Fuente [16]

	Consumo	Peso considerado	Autor
	20,00 kWh/100km	1230,00 kg	Althaus 2011
	22,00 kWh/100km	1000,00 kg	Ecolane 2006
	25,00 kWh/100km	1600,00 kg	Helms 2010
	14,00 kWh/100km	1530,00 kg	Simons2011
	28,00 kWh/100km	Na	Hawkins 2012
	23,00 kWh/100km	1670,00 kg	Held 2011
	22,00 kWh/100km	Na	Lambrecht 2011
	20,00 kWh/100km	1632,00 kg	Frischknecht 2011
	19,00 kWh/100km	1531,00 kg	Freire 2011
	17,00 kWh/100km	1540,00 kg	Boureima 2011
<i>Valor medio</i>	21,00 kWh/100km	1466,63 kg	

Por ultimo y de cara al cálculo, se establece un valor medio de vida útil del vehículo eléctrico con los valores obtenidos en otros estudios.

Tabla 38. Vida útil de un vehículo eléctrico.

		Fuente
<i>Vida media</i>	200000,00 km	[15]
	230500,00 km	[6]
	210000,00 km	[4]
	300000,00 km	[9]
<i>Valor medio</i>	235125,00 km	

Después, se aplica la siguiente fórmula de cara al cálculo del consumo eléctrico total durante toda su vida útil y así cuantificar la energía consumida durante su etapa de uso.

$$\frac{\text{Consumo}_{eléc}}{100} \left(\frac{kWh}{km} \right) * 3,6 \left(\frac{MJ_{eléc}}{kWh_{eléc}} \right) * \text{Energía primaria} \left(\frac{MJ_{E.prim}}{MJ_{eléc}} \right) * \text{Vida útil}(km) \quad (4)$$

Aplicando la fórmula, se obtiene un valor de consumo energético igual a 332400,92 MJ.

4.6.3 RESULTADO FINAL:

Por último, se suman los valores de su etapa de fabricación y de su etapa de uso para obtener el consumo energético total durante todo su ciclo de vida, y se calcula la energía consumida por kilómetro recorrido.



Tabla 39. Resumen de vehículo eléctrico.

Resumen vehículo eléctrico		
Etapa	Energía	Influencia sobre el total
Fabricación	100466,667 MJ	23,210 %
Uso	332400,915 MJ	76,790 %
Total	432867,582 MJ	
Total, por kilómetro recorrido	1,841 MJ	

4.7 GLP:

4.7.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:

Constructivamente hablando, el vehículo de GLP es muy similar al vehículo de gasolina y, ante la falta de resultados, en este trabajo se tomará como equivalente al vehículo de gasolina con los datos de la tabla 2 y 3 ya que la única diferencia real entre tecnologías reside en el empleo de algunos materiales poliméricos distintos.

Los vehículos de GLP tienden a venir con sistemas de funcionamiento tanto de GLP como de gasolina, lo que incrementa su coste de fabricación. Aun así, para el análisis se tomará como vehículo de único uso con GLP.

Con ello la energía quedaría tal y como se muestra a continuación.

Tabla 40. Energía de fabricación vehículo de GLP.

		Fuente
<i>Energía total de fabricación</i>	65800,00 MJ	[5]
	77600,00 MJ	[9]
	75300,00 MJ	[9]
	65100,00 MJ	[9]
<i>Valor medio</i>	70950,00 MJ	

Con ello, la energía de los componentes quedaría de la siguiente manera.

Tabla 41. Energía de fabricación de las partes de un vehículo de GLP.

Producto	Energía (MJ)	Porcentaje de la energía total de fabricación %	Fuente
<i>Cuerpo del vehículo</i>	24761,55 MJ	34,90%	[2]
<i>Unidad de potencia</i>	18801,75 MJ	26,50%	[2]
<i>Sistema de transmisión</i>	7804,50 MJ	11,00%	[2]
<i>Chasis</i>	19582,20 MJ	27,60%	[2]
<i>Motor de tracción</i>	0,00 MJ	0,00%	[2]
<i>Generador</i>	0,00 MJ	0,00%	[2]
<i>Controlador electrónico</i>	0,00 MJ	0,00%	[2]
<i>Sistemas auxiliares de la pila de combustión</i>	0,00 MJ	0,00%	[2]



4.7.2 ETAPA DE USO:

En la etapa de fabricación, el vehículo de GLP es muy similar al de gasolina, la diferencia reside en el uso del combustible. Es por eso que la parte que cobra importancia en el análisis de esta tecnología es la parte del uso del vehículo, por las evidentes diferencias entre combustibles.

Para ello, lo primero que habrá que hacer es analizar los datos del combustible de forma que se obtengan los valores mostrados a continuación. En el caso del poder calorífico, los datos son algo variables por lo que se usará un valor medio entre los obtenidos.

Tabla 42. Datos del Gas Licuado de Petróleo.

Magnitud	Dato	Fuente de información
<i>Poder calorífico</i>	41,23 MJ/kg	[34]
	45,84 MJ/kg	[35]
<i>Valor medio</i>	43,53 MJ/kg	
<i>Densidad</i>	540,50 kg/m ³	[35]
<i>Poder calorífico/litro</i>	23,53 MJ/L	

Con los datos del GLP ya recolectados, se pasaría a obtener los datos de energía primaria requerida para su producción. El GLP es producto de los gases producidos por el petróleo durante su refinado y tratamientos o, dicho de otra manera, son los “desechos” del petróleo en forma de gas durante su refinado, los cuales se recolectan y tratan para poder ser usados como combustible.

Es por esto que la energía primaria requerida para su fabricación es mínima, ya que no se tendría en cuenta como energía para la producción de la gasolina. Sólo habría que tener en cuenta el tratamiento para ser usado como GLP. Así, la energía primaria empleada quedaría como se muestra a continuación, ya teniendo en cuenta el megajulio contenido en el combustible.

Tabla 43. Energía primaria para la producción de GLP.

	Energía primaria	Fuente
<i>Licuefacción</i>	1,01 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[33]
<i>Distribución</i>	1,02 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[33]
<i>Compresión</i>	1,01 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[33]
<i>Total</i>	1,04 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[33]

Después, habría que tener en cuenta el consumo de GLP del vehículo. Este será más elevado que en el resto de tecnologías convencionales, debido a que el poder calorífico por unidad de volumen del propio gas es menor, es decir, la cantidad de combustible necesaria para producir la energía cinética del vehículo tendrá que ser mayor.



Tabla 44. Consumo vehículo de GLP.

Vehículo	Consumo	Fuente
Alfa Romeo GIULIETTA 1.4 TB 120CV GLP de 1392 kg	8,60 L/100km	[43]
Ford Focus 2014 1.6 (GLP) (117cv) de 1200 kg	7,70 L/100km	[43]
Opel Astra ST 1.4 Turbo 140 cv GLP de 1475 kg	8,60 L/100km	[43]
Valor medio	8,30 L/100km	

Por último, sólo quedaría aplicar una vida útil al vehículo. Al haber considerado su etapa de construcción equivalente a la de un vehículo de gasolina y no teniendo porque ser muy distinta su vida útil, se considera que también serán equivalentes.

Tabla 45. Vida útil de un vehículo de GLP.

		Fuente
Vida media	210000,00 km	[4]
	211250,00 km	[5]
	300000,00 km	[9]
Valor medio	240416,67 km	

Con la vida útil ya establecida, se calcula el consumo energético durante todo el ciclo de vida. Para ello, habrá que emplear la ecuación (1) dada en los vehículos de gasolina, ya que la utilización será la misma. Con ella, el resultado obtenido es de 488309,627 MJ para la etapa de uso del vehículo.

4.7.3. RESULTADO FINAL:

Para finalizar, se suma la energía consumida en ambas etapas obteniendo la total, y con ella y la vida útil, se obtiene la energía en función de los kilómetros recorridos y así obtener una buena comparativa.

Tabla 46. Resumen vehículo de GLP.

Resumen vehículo de GLP		
Etapas	Energía	Influencia sobre el total
Fabricación	70950,00 MJ	12,686 %
Uso	488309,627 MJ	87,314 %
Total	559259,627 MJ	
Total, por kilómetro recorrido	2,326 MJ	

4.8 GAS NATURAL COMPRIMIDO:

4.8.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:

Al igual que el vehículo de GLP, el vehículo de gas natural comprimido presenta una arquitectura muy similar al vehículo de gasolina. Su diferencia más notable radica en el uso de un depósito de combustible más fuerte y mejor elaborado para soportar las altas presiones a las que se



introduce el gas natural. Además, algunos materiales de goma y cauchos son reemplazados por otros más compatibles con el flujo de gas.

Es por eso que los resultados de esta etapa serán iguales al caso del vehículo de gasolina, con lo que se obtendrían los resultados que se muestran a continuación.

Tabla 47. Energía de fabricación vehículo de GNC.

		Fuente
<i>Energía total de fabricación</i>	65800,00 MJ	[5]
	77600,00 MJ	[9]
	75300,00 MJ	[9]
	65100,00 MJ	[9]
<i>Valor medio</i>	70950,00 MJ	

Así, igual que antes, los datos de los componentes quedarían de la siguiente forma.

Tabla 48. Energía de fabricación de los componentes del vehículo de GNC.

<i>Producto</i>	<i>Energía (MJ)</i>	<i>Porcentaje de la energía total de fabricación %</i>	<i>Fuente</i>
<i>Cuerpo del vehículo</i>	24761,55 MJ	34,90%	[2]
<i>Unidad de potencia</i>	18801,75 MJ	26,50%	[2]
<i>Sistema de transmisión</i>	7804,50 MJ	11,00%	[2]
<i>Chasis</i>	19582,20 MJ	27,60%	[2]
<i>Motor de tracción</i>	0,00 MJ	0,00%	[2]
<i>Generador</i>	0,00 MJ	0,00%	[2]
<i>Controlador electrónico</i>	0,00 MJ	0,00%	[2]
<i>Sistemas auxiliares de la pila de combustión</i>	0,00 MJ	0,00%	[2]

4.8.2 ETAPA DE USO:

En la etapa de uso reside la gran diferencia respecto al vehículo de GLP y de gasolina. El gas natural, es el combustible fósil más limpio. Primero, para el análisis se establecen los datos necesarios sobre el gas natural.

Tabla 49. Datos del gas natural.

<i>Magnitud</i>	<i>Dato</i>	<i>Fuente</i>
<i>Poder calorífico</i>	46,00 MJ/kg	[32]
	37,30 MJ/Nm ³	[30]

Después de esto, se pasaría al cálculo de energía primaria del combustible para su obtención. Aunque el gas natural se encuentra en estado de gas una vez recolectado del pozo correspondiente. Este requiere de diversos tratamientos que lo purifiquen, y así obtener el combustible limpio que es. Por eso, la energía consumida para el tratamiento y fabricación del gas natural y para distribuirlo para su uso ha de tenerse muy en cuenta al no ser despreciable. A todo esto, habría que sumarle la necesidad de comprimirlo para su uso. El consumo de todo este proceso sería de 0,18 MJ(EP)/MJ(Fuel) [9] sin incluir el megajulio de fuel que posteriormente se consumirá.



Del consumo de los vehículos de gas natural si se disponen datos en el IDAE, de forma que, obteniendo valores para varios vehículos y tipos se obtendrá una media con la que intentar permanecer en el consumo de un vehículo medio.

Tabla 50. Consumo vehículo de GNC.

Vehículo	Consumo	Fuente
Volkswagen NUEVO GOLF 1.4 TGI 110 CV GNC de 1395 kg	5,20 kg/100km	[43]
SEAT NUEVO LEON ST 1.4 TGI 81KW (110CV) de 1359 kg	5,70 kg/100km	[43]
SKODA OCTAVIA COMBI 1.4 TGI 110 CV GNC de 1412 kg	5,30 kg/100km	[43]
Valor medio	5,40 kg/100km	

Por último, se establece una vida útil equivalente al vehículo de gasolina.

Tabla 51. Vida útil de un vehículo de GNC.

		Fuente
Vida media	210000,00 km	[4]
	211250,00 km	[5]
	300000,00 km	[9]
Valor medio	240416,67 km	

Aplicando una ecuación similar a (1) se calcula el consumo durante su ciclo de vida.

$$PC \left(\frac{MJ_{fuel}}{kg} \right) \cdot Energía del fuel \left(\frac{MJ_{E.primaria}}{MJ_{fuel}} \right) \cdot \frac{Consumo \left(\frac{kg}{km} \right)}{100} \cdot Vida\ útil(km) \quad (5)$$

Aplicando la ecuación se obtiene un valor para la etapa de uso de 704690,100 MJ.

4.8.3 RESULTADO FINAL:

Por último, se suman los consumos para ambas etapas y así se obtiene un valor total. También, se divide entre la vida útil y se obtiene el valor comparativo. Dichos resultados se muestran a continuación.

Tabla 52. Resumen del vehículo de GNC.

Resumen vehículo de GNC		
Etapas	Energía	Influencia sobre el total
Fabricación	70950,00 MJ	9,147 %
Uso	704690,100 MJ	90,853 %
Total	775640,100 MJ	
Total, por kilómetro recorrido	3,226 MJ/km	



4.9 BIODIÉSEL:

4.9.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:

En esta etapa, el vehículo de biodiésel es de estructura equivalente al vehículo diésel convencional, las únicas diferencias notables residen en el uso de algunos materiales poliméricos distintos, de forma que sean compatibles con el carácter detergente del biodiésel.

Por ello, el resultado de energía de fabricación del vehículo biodiésel quedaría de la siguiente manera.

Tabla 53. Energía de fabricación de un vehículo biodiésel.

		Fuente
Energía total de fabricación	69200,00 MJ	[5]
	68400,00 MJ	[9]
Valor medio	68800,00 MJ	

Una vez calculada la energía de fabricación, se calcularía la energía de fabricación de los subcomponentes a partir de los porcentajes de influencia sobre el total, cuyos resultados se muestran a continuación.

Tabla 54. Energía de fabricación de los componentes de un vehículo de biodiésel.

Producto	Energía (MJ)	Porcentaje de la energía total de fabricación %	Fuente
Cuerpo del vehículo	24011,20 MJ	34,90%	[2]
Unidad de potencia	18232,00 MJ	26,50%	[2]
Sistema de transmisión	7568,00 MJ	11,00%	[2]
Chasis	18988,80 MJ	27,60%	[2]
Motor de tracción	0,00 MJ	0,00%	[2]
Generador	0,00 MJ	0,00%	[2]
Controlador electrónico	0,00 MJ	0,00%	[2]
Sistemas auxiliares de la pila de combustión	0,00 MJ	0,00%	[2]

4.9.2 ETAPA DE USO:

En la etapa de uso es donde se verá la gran diferencia respecto a los vehículos convencionales. Para ello, lo primero que habría que hacer sería establecer los datos del combustible, es decir, del biodiésel que se muestran a continuación. Los datos de densidad del material, al ser de distintos orígenes, son un poco difusos ya que dependen de su procedencia, por eso, lo que se realizará será una media que establezca el valor más cercano a los posibles.

Tabla 55. Datos del biodiésel.

Magnitud	Dato	Fuente
Poder calorífico	40,67 MJ/kg	[34]
Densidad más baja	860,00 kg/m ³	[36]
Densidad más alta	900,00 kg/m ³	[36]
Densidad media	880,00 kg/m ³	
Poder calorífico/litro	35,79 MJ/L	



Ahora, se procede al cálculo de energía primaria consumida por los procesos de fabricación del biodiésel. Al igual que pasa con la densidad, estos valores son muy variables en función del origen del biodiésel. Esto se debe a que la reacción de transesterificación producida para la producción del biodiésel puede ser más severa o más suave según la cantidad de triglicéridos de un determinado origen y la calidad de dicho origen y los tratamientos necesarios.

La forma más acertada de realizar este trabajo sería tener en cuenta las materias usadas más habitualmente y el porcentaje de uso de las mismas. Dado que este no sigue un patrón exacto, lo que dificulta mucho su estudio, lo que se hará es calcular un valor medio de entre todas las energías de forma que se obtenga el valor más cercano. Dichos valores se encuentran a continuación, sin incluir el megajulio contenido en el combustible que después se usará.

Tabla 56. Energía de fabricación del biodiésel.

Origen biodiésel	MJ(PE)/MJ(Fuel)	Fuente
<i>Colza</i>	0,431 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[29]
<i>Girasol</i>	0,401 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[29]
<i>Soja</i>	0,387 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[29]
<i>Palma</i>	0,271 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[29]
<i>Aceite vegetal puro</i>	0,226 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[29]
<i>Aceite vegetal usado</i>	0,236 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[29]
<i>Grasa animal</i>	0,234 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[29]
<i>Valor medio</i>	0,364 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[29]

A continuación, se establece el consumo de biodiésel por el vehículo. Aunque este puede ser muy similar al diésel, ya que determinados vehículos pueden funcionar con ambos, es cierto que no es exactamente igual por lo que no se podría tomar como un equivalente. Además, en el IDAE no se han registrado datos de consumo de un vehículo de biodiésel. Debido a eso, el consumo, tomado de otro estudio, se establece en 6,10 L/100km [6] con lo que se podrá calcular el consumo durante su ciclo de vida.

Después, sólo quedaría establecer la vida útil, equivalente a la vida útil de un vehículo diésel convencional, y con la ecuación (1) calcular el consumo durante su etapa de uso.

Tabla 57. Vida útil de un vehículo de biodiésel.

		Fuente
<i>Vida media</i>	210000,00 km	[4]
	238750,00 km	[5]
	300000,00 km	[9]
<i>Valor medio</i>	249583,33 km	

Aplicando la ecuación ya mencionada, y con los datos ya establecidos obtendríamos un valor de consumo energético en la etapa de uso de 743218,704 MJ.

4.9.3 RESULTADO FINAL:

Para finalizar, se sumaría el resultado obtenido tanto en la etapa de uso como en la etapa de fabricación, y con ello, se obtendría el consumo energético para todo su ciclo de vida. Además, este se dividiría, entre la vida útil de forma que obtengamos el valor del consumo por kilómetro recorrido.



Tabla 58. Resumen vehículo de biodiésel.

Resumen vehículo de Biodiésel

Etapa	Energía	Influencia sobre el total
Fabricación	68800,00 MJ	8,473 %
Uso	743218,704 MJ	91,527 %
Total	812018,704 MJ	
Total, por kilómetro recorrido	3,253 MJ/km	

4.10 ETANOL:**4.10.1 ETAPA DE FABRICACIÓN:**

En la etapa de fabricación del vehículo de etanol, la supondremos igual que cualquier otro vehículo de gasolina, ya que dichos vehículos tienden a venir preparados para el uso de ambos combustibles. Por ello, los datos de fabricación tanto para la energía total como para la energía de los componentes serán iguales.

Tabla 59. Energía de fabricación de un vehículo de Etanol.

		Fuente
<i>Energía total de fabricación</i>	65800,00 MJ	[5]
	77600,00 MJ	[9]
	75300,00 MJ	[9]
	65100,00 MJ	[9]
<i>Valor medio</i>	70950,00 MJ	

Por último, en esta etapa, la energía de cada componente quedaría como se muestra a continuación.

Tabla 60. Energía por componentes de un vehículo de Etanol.

Producto	Energía (MJ)	Porcentaje de la energía total de fabricación %	Fuente
<i>Cuerpo del vehículo</i>	24761,55 MJ	34,90%	[2]
<i>Unidad de potencia</i>	18801,75 MJ	26,50%	[2]
<i>Sistema de transmisión</i>	7804,50 MJ	11,00%	[2]
<i>Chasis</i>	19582,20 MJ	27,60%	[2]
<i>Motor de tracción</i>	0,00 MJ	0,00%	[2]
<i>Generador</i>	0,00 MJ	0,00%	[2]
<i>Controlador electrónico</i>	0,00 MJ	0,00%	[2]
<i>Sistemas auxiliares de la pila de combustión</i>	0,00 MJ	0,00%	[2]

4.10.2 ETAPA DE USO:

En la etapa de uso habrá grandes diferencias respecto a los vehículos convencionales, así como también habrá diferencias con los biocombustibles y gases ya mencionados. Esto es, principalmente, porque para este análisis nos basaremos en el uso de etanol en España. La



mezcla seleccionada para el etanol será la del E85, con un 85% de etanol y un 15% de gasolina, debido a que en España es la mayor proporción de etanol usada como combustible. El uso de etanol en otros países como Brasil, si se da en una proporción del 100%, aun así, en el presente trabajo no se tendrá en cuenta al no existir dicha posibilidad en España.

Por ello, lo primero que habrá que tener en cuenta son los datos de la tabla 4, en los que se presentan los valores de poder calorífico y densidad de la gasolina. Después habrá que hallar los valores para el etanol, los cuales se muestran a continuación.

Tabla 61. Datos del Etanol.

Magnitud	Dato	Fuente
<i>Poder calorífico</i>	26,80 MJ/kg	[37]
<i>Densidad</i>	790,00 kg/m ³	[30]
<i>Poder calorífico/litro</i>	21,17 MJ/L	

Una vez obtenidos los datos del combustible, habría que obtener los datos de energía primaria consumida en la fabricación. Como se trata de una mezcla entre gasolina y etanol, los datos a tener en cuenta serían los de la tabla 5 para el 15% de gasolina y los que se muestran a continuación sobre el etanol. Con el etanol ocurre un problema similar al biodiésel, su procedencia puede darse de distintas fuentes, por eso, se recurrirá a la realización de una media de la energía necesaria entre las distintas fuentes, y así aproximar dicho valor lo mejor posible. Dichos valores se dan sin incluir el megajulio del combustible que posteriormente será usado por el vehículo.

Tabla 62. Energía primaria para la producción de Etanol.

Origen etanol	MJ(PE)/MJ(Fuel)	Fuente de información
<i>Trigo</i>	0,620 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[29]
<i>Maíz</i>	0,575 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[29]
<i>Remolacha</i>	0,592 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[29]
<i>Caña de azúcar</i>	0,183 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[29]
<i>Valor medio</i>	0,493 MJ(PE)/MJ(Fuel)	[29]

Como la base de datos del IDAE no incorpora datos de consumo de un vehículo de etanol, estos se obtendrán de otros autores y sus respectivos estudios. Con los valores obtenidos, se realizará una media que determine el consumo del vehículo a considerar.

Tabla 63. Consumo vehículo de etanol.

		Fuente
<i>Consumo</i>	12,20 L/100km	[6]
	10,20 L/100km	[17]
<i>Valor medio</i>	11,20 L/100km	

Una vez obtenido el consumo, se establece una vida útil con la que calcular el consumo energético de la etapa. Esta vida útil será equivalente a la del vehículo de gasolina.



Tabla 64. Vida útil de un vehículo de etanol.

		Fuente
<i>Vida media</i>	210000,00 km	[4]
	211250,00 km	[5]
	300000,00 km	[9]
<i>Valor medio</i>	240416,67 km	

Para el cálculo, se usará la siguiente ecuación, la cual es una variación de la ecuación (1), a la que se le añade el consumo del etanol.

$$PC_{Vol\ gasolina} \left(\frac{MJ_{fuel}}{L} \right) \cdot Energía\ gasolina \left(\frac{MJ_{E.prim}}{MJ_{fuel}} \right) \cdot \frac{Consumo}{100} \left(\frac{L}{km} \right) \cdot Vida\ útil(km) \cdot 15\% +$$

$$PC_{Vol\ etanol} \left(\frac{MJ_{fuel}}{L} \right) \cdot Energía\ etanol \left(\frac{MJ_{E.prim}}{MJ_{fuel}} \right) \cdot \frac{Consumo}{100} \left(\frac{L}{km} \right) \cdot Vida\ útil(km) \cdot 85\% \quad (6)$$

Aplicando la ecuación, obtendríamos un consumo durante la etapa de uso de 875321,861 MJ, el más elevado con diferencia.

4.10.3 RESULTADO FINAL:

Por último, sumamos ambas etapas de forma que se obtenga el consumo energético total para todo el ciclo de vida y así, dividir entre la vida útil de cara a una mejor comparativa.

Tabla 65. Resumen vehículo de etanol.

Resumen vehículo de etanol		
Etapas	Energía	Influencia sobre el total
Fabricación	70950,00 MJ	7,498 %
Uso	875321,861 MJ	92,502 %
Total	946271,861 MJ	
Total, por kilómetro recorrido	3,936 MJ/km	



5. COMPARATIVA:

5.1 ENERGÍA DE FABRICACIÓN:

En este apartado, se hará una comparación de energía durante la fabricación de forma que se pueda realizar un ranking para los vehículos más eficientes en su fabricación, sin tener en cuenta el posterior consumo.

En la etapa de fabricación, el vehículo de mayor consumo es el PHEV o híbrido enchufable, con un consumo total de 111000,000 MJ. Resultado lógico por otra parte, al tratarse de un vehículo formado tanto por la parte convencional de gasolina, como por una parte eléctrica que le ayude a reducir su consumo y un gran peso. Además, esa parte eléctrica es la de mayor tamaño para un vehículo híbrido ya que el HEV dispone de unas baterías de menor tamaño como pequeña ayuda al movimiento.

Seguido al PHEV resulta el vehículo eléctrico con 100466,667 MJ de consumo, debido al gran tamaño y complejidad de las baterías, y al uso de sistemas modernos y más avanzados en su arquitectura. A continuación, estaría el vehículo de hidrógeno gastando 99866,667 MJ, de gran consumo por su compleja fabricación y su escaso desarrollo actual. Después, al incorporar también sistemas convencionales y modernos como ayuda eléctrica, vendría el HEV, con un consumo de 76860,000 MJ.

Por último y casi iguales, estarían los sistemas convencionales y derivados, con un único funcionamiento de motor de combustión, los sistemas de gasolina con 70950,000 MJ y los del diésel 68800,000 MJ. Debido a la gran experiencia y a la extensión del desarrollo de estas tecnologías es una tecnología de fácil fabricación y de gran economía y simplicidad.

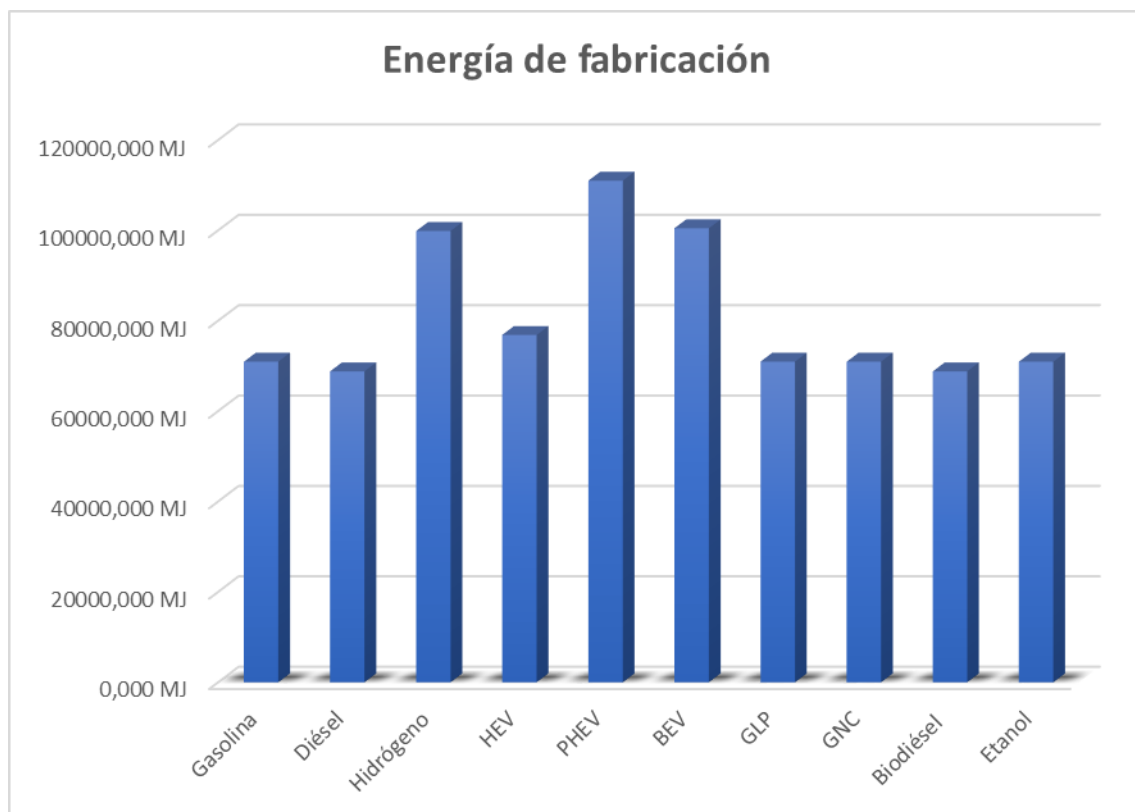


Figura 23. Comparativa de energía de fabricación.



5.2 ENERGÍA DE USO:

En este segundo apartado se realizará una comparativa para analizar cuál es el vehículo que más consumirá durante su uso, sin importar la fabricación del mismo, y así dar gran importancia a la energía de fabricación de los distintos combustibles y al gasto que se hace de estos.

En materia de uso, debido al coste de fabricación actual de los biocombustibles y el gran consumo de combustible de un vehículo dotado para su uso, el vehículo de bioetanol es el de mayor consumo, con un consumo en su etapa de uso de 875321,861 MJ. El biodiésel es el segundo, con un consumo de 743218,704 MJ. El vehículo de gas natural comprimido también es de elevado consumo energético, al ser un combustible de alto poder calorífico y ser un vehículo con un consumo de combustible elevado, de forma que en esta etapa da un consumo de 704690,100 MJ.

Seguido, por el bajo rendimiento del motor de combustión está el vehículo de GLP y de gasolina con un consumo de 488309,627 MJ y 485842,020 MJ respectivamente. Después, por el alto coste de producción del combustible estaría el hidrógeno con 466781,700 MJ. Por último, estaría el diésel, con 431483,426 MJ, antes de los vehículos de alta eficiencia.

El más eficiente en esta etapa resulta ser el híbrido no enchufable, con un consumo de 298951,544 MJ, se debe en gran medida a la reducida vida útil de 226833,33 km, que, en comparación con la vida útil del vehículo eléctrico y el híbrido enchufable reduce su consumo en esta etapa. Además, el HEV reduce su consumo a partir de su propio movimiento, y no gracias a la red eléctrica. Con un consumo de 301320,360 MJ, estaría el PHEV, siendo el segundo más eficiente, y el tercero sería el vehículo eléctrico con 332400,915 MJ.

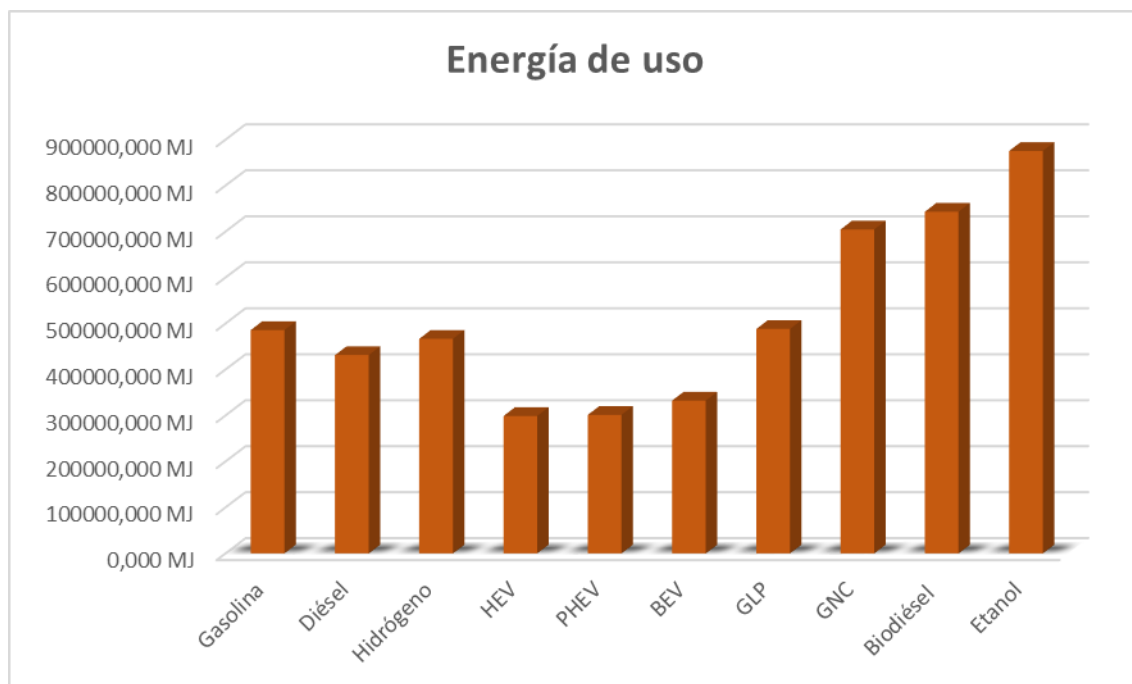


Figura 24. Comparativa de energía de uso.

5.3 ENERGÍA TOTAL:

Ahora se realizará un ranking en base al consumo energético de todo el ciclo de vida, con el que obtener el vehículo que más consumirá durante toda su vida útil.



Si analizamos la energía consumida en ambas etapas y las unimos, los resultados no son muy variables respecto a la etapa de uso, al ser esta mucho mayor. Los vehículos de mayor consumo serían el de etanol con un consumo de 946271,861 MJ, después el biodiésel con 812018,704 MJ, seguido por el gas natural comprimido con 775640,100 MJ. Seguidamente se situaría el vehículo de hidrógeno, al tener una fabricación tan costosa e intensa con 566648,367 MJ.

El vehículo más eficiente sería el híbrido no enchufable con 375811,544 MJ, seguido por el PHEV con 412320,360 MJ y el eléctrico con 432867,582 MJ.

Entre medias se encontraría la gasolina con 556792,020 MJ, el vehículo diésel con 500283,426 MJ y el de GLP con 559259,627 MJ.

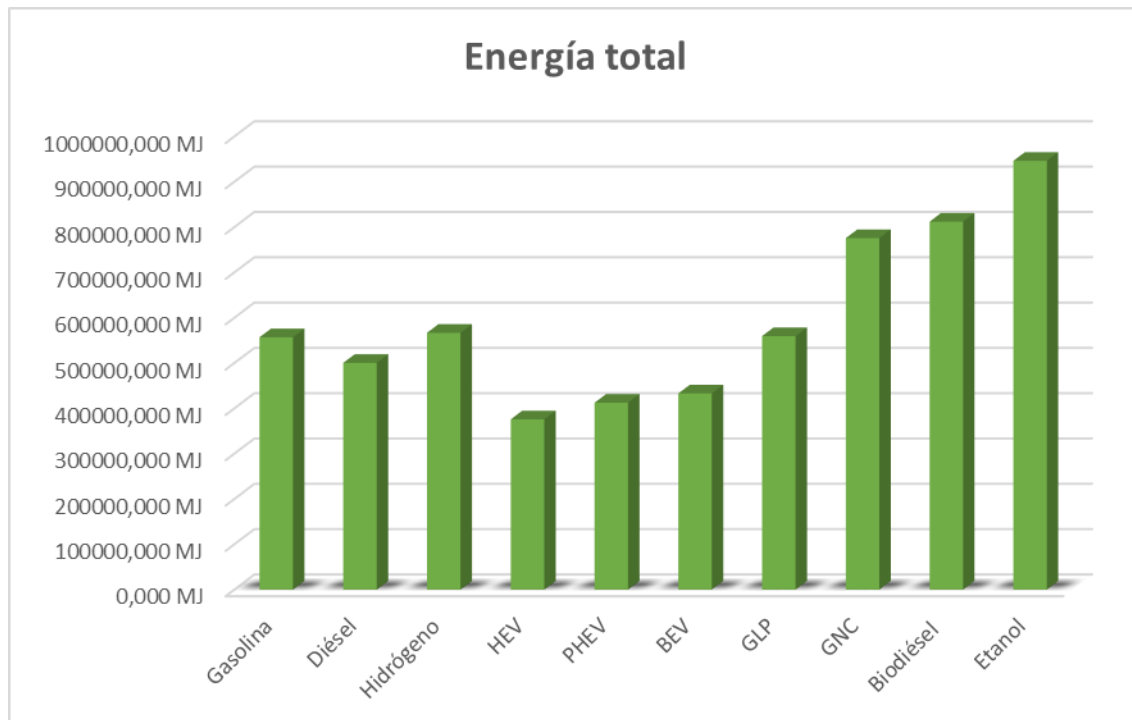


Figura 25. Comparativa de energía total.

5.4 ENERGÍA TOTAL POR KILÓMETRO RECORRIDO:

La mejor comparativa posible, se hará en este apartado, ya que, si la vida del vehículo es elevada o demasiado reducida, no afectará al ranking de vehículos. Esto sirve para aclarar el consumo de algunos vehículos, y el por qué resultan ser más eficientes por cada kilómetro que recorren durante su vida.

En primer lugar, el más eficiente sería el híbrido enchufable al consumir 1,649 MJ/km, seguido de cerca por el híbrido no enchufable con un consumo de 1,657 MJ/km. Aunque era lógico pensar que el vehículo eléctrico sería el más eficiente, este se halla el tercero con un consumo de 1,841 MJ/km. El elevado consumo del vehículo eléctrico es producido por su fase de uso, en la que consume una electricidad difícil de obtener, y que se disminuiría con el uso de las energías renovables o aumentando el rendimiento de dicha producción. Después se encontraría el diésel, con el motor de combustión de mayor rendimiento consumiendo 2,004 MJ/km, el hidrógeno, consumiendo 2,159 MJ/km y casi a la par la gasolina y el GLP con 2,316 MJ/km y 2,326 MJ/km respectivamente.



Por último, los menos eficientes serían los biocombustibles y el gas natural, con un consumo de 3,226 MJ/km para el gas, 3,253 MJ/km para el biodiésel y 3,936 MJ/km para el etanol.

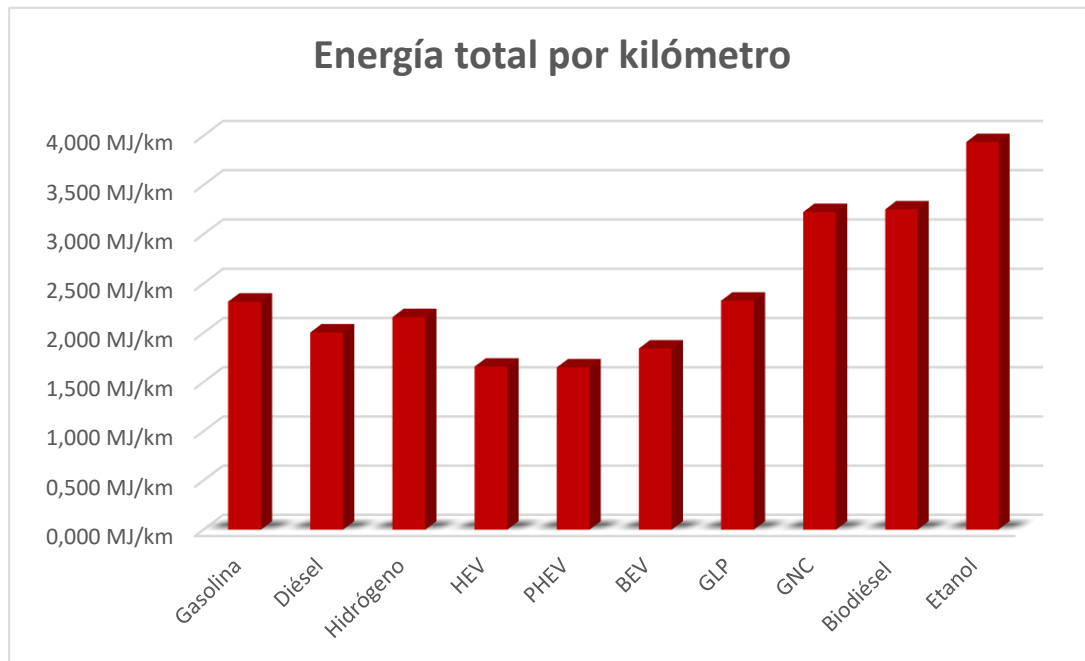


Figura 26. Comparativa de energía total por kilómetro recorrido.



6. CONCLUSIONES:

Del estudio realizado, podemos concluir que los tres vehículos eléctricos ocupan las primeras posiciones, y el vehículo más eficiente resulta ser el híbrido enchufable, por delante del híbrido no enchufable y el vehículo eléctrico. Por otra parte, para este resultado es necesario considerar el consumo de combustibles de los vehículos como ideales por lo que son realmente bajos. En el caso del PHEV, el consumo propuesto consiste en la utilización de toda la energía almacenada en la batería, reduciendo así el consumo de combustible al máximo. Sin embargo, en el caso del vehículo eléctrico el gasto energético será más constante, ya que la variación de forma de conducción o de nivel de carga de las baterías no será tan notable.

Además, el aumento de energía renovable durante la producción de la electricidad sería de gran ayuda de cara a la reducción del consumo energético para el uso de tecnologías que requieran de electricidad de la red. En los procesos de producción eléctrica de España están muy integrados los métodos como la producción por centrales térmicas tanto de combustible líquido como de carbón. Aunque dichas formas de producción han mejorado notablemente su eficiencia gracias a la cogeneración, siguen siendo de muy bajo rendimiento ya que, la energía suministrada por el combustible para la producción de electricidad es mucho mayor que la energía eléctrica que se obtiene. Reduciendo estos procesos e integrando en mayor medida soluciones como la energía eólica o solar, la energía consumida en el uso del vehículo eléctrico o sistemas similares se vería considerablemente reducida y conseguirían ser las tecnologías más eficientes.

También cabe destacar que, una vez los sistemas modernos como el PHEV, el vehículo eléctrico, o inclusive, el vehículo de hidrógeno, se asienten en la sociedad de forma que la producción se mejore y se realice de manera más continuada la energía se reducirá hasta ser realmente competitivos. Así, podrían considerarse como la mejor y única opción realmente viable para el uso privado en el futuro.

El vehículo de hidrógeno, es una tecnología aún muy poco desarrollada y viendo el resultado, se ha demostrado que está en posición de competir con las tecnologías convencionales y más extendidas. Además, cabe destacar la utilidad de un combustible de cero emisiones y con la diferencia respecto al eléctrico, de rápida recarga para su disfrute.

Por último, podemos concluir que el uso de combustibles renovables como el biodiésel o el etanol, ofrece la clara ventaja de su mayor limpieza medioambiental al emitir menos gases nocivos y la posibilidad de ser renovados una vez se acaben los combustibles fósiles. A pesar de esto, actualmente la energía requerida para su fabricación y disfrute es demasiado elevada, reduciéndolos a la peor opción sostenible en base a la energía requerida. Se concluye que aun teniendo niveles bajos de emisión de CO₂ en la fase de uso (y su consideración de neutralidad frente al CO₂), si se considera todo el ciclo de vida del vehículo, la energía y por tanto las emisiones se incrementan considerablemente.

Se concluye por tanto que desde el punto de vista de la sostenibilidad los esfuerzos políticos (ayudas, impuestos ambientales etc.) y de investigación deberían seguir la siguiente senda:

- Fomento de la investigación y de las ayudas políticas para el desarrollo y mejora de las tecnologías eléctricas, así como, de cara a incrementar el número de vehículos eléctricos en la circulación.



- Aumento y mejora de las infraestructuras para un aumento de la producción eléctrica a partir de energías renovables y así, disminuir más todavía la energía de la etapa de uso del vehículo.
- Descartar el desarrollo de los biocombustibles y del gas natural en pos de un mejor aprovechamiento de los recursos y de los servicios debido al gasto energético tan intensivo.
- Como adición, el desarrollo de la movilidad por hidrógeno puede ser interesante al tener un consumo muy equilibrado respecto a las tecnologías convencionales. Consumo que podría ser más reducido una vez se mejoren los sistemas de fabricación y de generación del combustible. Además, la nula emisión de gases nocivos a la atmósfera y la posibilidad de recarga de forma rápida y sencilla lo hacen muy ventajoso respecto al resto de tecnologías. Hoy en día debido a la escasa infraestructura y al carácter incipiente de la tecnología hace que sea imposible su uso, pudiendo ser muy competitiva en un futuro.



7. REFERENCIAS:

- [1] J.L. Sullivan, A. Burnham, and M. Wang (2010), *"Energy-Consumption and Carbon-Emission Analysis of Vehicle and Component Manufacturing"*. Chicago: Argonne National Laboratory
- [2] A. Burnham, M. Wang, and Y. Wu (2006), *"Development and Applications of GREET 2.7 — The Transportation Vehicle-Cycle Model"*. Chicago: Argonne National Laboratory.
- [3] Dr. Deepak Rajagopal (2012), *"Lifecycle analysis comparison of a battery electric vehicle and a conventional gasoline vehicle"*.
- [4] Energy Efficiency and Conservation Authority, *"Life Cycle Assessment of Electric Vehicles"*. Melbourne.
- [5] Françoise NEMRY, Guillaume LEDUC, Ignazio MONGELLI, Andreas UIHLEIN (2008), *"Environmental improvement of passenger cars"*. Sevilla: Joint Research Centre Institute for Prospective Technological Studies.
- [6] Maarten Messagie, Faycal-Siddikou Boureima, Thierry Coosemans, Cathy Macharis and Joeri Van Mierlo (2014), *"A Range-Based Vehicle Life Cycle Assessment Incorporating Variability in the Environmental Assessment of Different Vehicle Technologies and Fuels"*.
- [7] Tamaki Ozawa, Takuya Yoshida, Junji Tokieda, Satoshi Aida, Lisa Oya (2015), *"The Mirai life cycle assessment report"*. (Toyota motor corporation)
- [8] Malcolm A. Weiss, John B. Heywood, Andreas Schafer, & Vinod K. Natarajan (2003), *"Comparative assessment of fuel cells cars"*. Massachusetts: MIT LFEE
- [9] Malcolm A. Weiss, John B. Heywood, Elisabeth M. Drake, Andreas Schafer, and Felix F. AuYeung (2000), *"A life cycle analysis of new automobile technologies"*. Massachusetts.
- [10] Patrícia Baptista, João Ribau, João Bravo, Carla Silva, Paul Adcock, Ashley Kells (2011), *"Fuel cell hybrid taxi life cycle analysis"*.
- [11] Bryan Anthony Strecker (2012), *"Well-to-Wheel Energy, Emissions, and Cost Analysis of Electricity and Fuel Used in Conventional and Electrified Vehicles, and Their Connection to a Sustainable Energy Infrastructure"*.
- [12] Constantine Samaras, and Kyle Meisterling (2008), *"Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Plug-in Hybrid Vehicles: Implications for Policy"*.
- [13] Maarten Messagie, Kenneth Lebeau, Thierry Coosemans, Cathy Macharis and Joeri van Mierlo (2013), *"Environmental and Financial Evaluation of Passenger Vehicle Technologies in Belgium"*. Bruselas.
- [14] Mikhail Chester and Arpad Horvath (2011), *"Vehicle manufacturing futures in transportation life cycle assessment"*. California.
- [15] Andrea Del Duce, Patricia Egede, Gerlind Öhlschläger, Tina Dettmer, Hans-Jörg Althaus, Thomas Büttler, Eva Szczechowicz (2013), *"eLCAR guideline for the LCA of electric vehicles"*.
- [16] Maarten Messagie¹, Cathy Macharis, Joeri. Van Mierlo (2013), *"Key outcomes from life cycle assessment of vehicles, a state of the art literature review"*. Bruselas.



- [17] TIAX LLC (2007), *"Full fuel cycle assessment tank to wheels emissions and energy consumption"*. California.
- [18] Linda Ager-Wick Ellingsen, Guillaume Majeau-Bettez, Bhawna Singh, Akhilesh Kumar Srivastava, Lars Ole Valøen, and Anders Hammer Strømman, *"Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack"*.
- [19] Min-Joon Lee, Sanghan Lee, Pilgun Oh, Youngsik Kim, and Jaephil Cho, *"High Performance LiMn₂O₄ Cathode Materials Grown with Epitaxial Layered Nanostructure for Li-Ion Batteries"*.
- [20] Jeff Daniels, *"Tecnología del coche moderno"*.
- [21] Prof. F. Payri y Prof. J. M. Desantes, *"Motores de combustión interna alternativos"*.
- [22] Karl-Heinz Decker (1975), *"Elementos de máquinas"*
- [23] Michael H. Westbrook, *"The electric car, development and future of battery, hybrid and fuel-cell cars"*
- [24] Universidad de Castilla la Mancha, *"Ciclo real de funcionamiento"*.
- [25] Agencia andaluza de la energía, *"Guía de la eficiencia energética en la automoción"*.
- [26] Iqbal Husain, *"Electric and hybrid vehicles, design fundamentals"*.
- [27] Fundación de la energía de la comunidad de Madrid, *"Hidrógeno y pila de combustible"*. Madrid.
- [28] Mattias Eriksson and Serina Ahlgren (2013), *"LCAs of petrol and diesel"*.
- [29] ADEME (2010), *"Life Cycle Assessments Applied to First Generation Biofuels Used in France"*.
- [30] ADEME (2009), *"Life Cycle Assessment of 1st generation biofuels used in France"*.
- [31] Mikhail Granovskii, Ibrahim Dincer, Marc A. Rosen (2005), *"Life cycle assessment of hydrogen fuel cell and gasoline vehicles"*.
- [32] Raymond R. Tan and Alvin B. Culaba, *"Life cycle assessment of conventional and alternative fuels for road vehicles"*.
- [33] Fayçal-Siddikou Boureima, Maarten Messagie, Julien Matheys, Vincent Wynen, Nele Sergeant, Joeri Van Mierlo, Marc De Vos, Bernard De Caemel (2009), *"Comparative LCA of electric, hybrid, LPG and gasoline cars in Belgian context"*. Bruselas.
- [34] Sérgio Morais, Teresa M. Mata, Eugénio Ferreira, *"Life Cycle Assessment of Soybean Biodiesel and LPG as Automotive Fuels in Portugal"*.
- [35] George Afrane and Augustine Ntiamoah (2011), *"Comparative Life Cycle Assessment of Charcoal, Biogas, and Liquefied Petroleum Gas as Cooking Fuels in Ghana"*. Ghana.
- [36] Escuela técnica superior de ingeniería de Barcelona, *"Estudio de alternativas para la producción de biodiésel"*.
- [37] Felipe Oliveira, Julia Hansson, Mathias Gustavsson (2015), *"On environmental LCA for selected transport fuels"*. Suecia.
- [38] WWF España (2014), *"Observatorio de la electricidad enero 2014"*.



- [39] Robert Edwards (JRC), Jean-François Larivé (CONCAWE), David Rikeard (CONCAWE), Werner Weindorf (LBST) (2013), *“Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context, version 4.0”*.
- [40] Tom Beer, Tim Grant, Richard Brown, Jim Edwards, Peter Nelson, Harry Watson & David Williams (2000), *“Life-cycle Emissions Analysis of Alternative Fuels for Heavy Vehicles”*.
- [41] Carlos Ariel Cardona, Oscar Julián Sánchez, María Isabel Montoya, Julián Andrés Quintero (2005), *“Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de caña de azúcar y maíz”*.
- [42] Federico Ganduglia, Equipo de Proyectos de Biocombustibles de ARPEL (2009), *“Manual de biocombustibles”*.
- [43] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE, [“http://coches.idae.es/portal/BaseDatos/MarcaModelo.aspx”](http://coches.idae.es/portal/BaseDatos/MarcaModelo.aspx)
- [44] *“Ecoinvent database”*.
- [45] Bent SØRENSEN, Roskilde University, Energy & Environment Group, *“Total life-cycle assessment of PEM fuel cell car”*. Dinamarca.
- [46] Argonne National Laboratory, Energy Systems Division, September 2016 (2016), *“Cradle-To-Grave life cycle analysis of U.S light-duty vehicle-fuel pathways: a greenhouse gas emissions and economic assessment of current (2015) and future (2025-2030) technologies”*. Chicago.
- [47] Dirección general de tráfico (2016), *“Parque de vehículos 2016”*. <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/parque-vehiculos/>
- [48] Linda Gaines, John Lorenzo Sullivan, Andrew Burham (2011), *“Life-Cycle Analysis for Lithium-Ion Battery Production and Recycling”*.
- [49] London Borough of Candel, *“Life Cycle Assessment of Vehicle Fuels and Technologies”*.
- [50] Yonggang Wang Dr., Yarong Wang Dr., Eiji Hosono Dr., Kaixue Wang Dr., Haoshen Zhou Dr., *“The Design of a LiFePO₄/Carbon Nanocomposite with a Core-Shell Structure and Its Synthesis by an In-Situ Polymerization Restriction Method”*.
- [51] Andreas Holzinger, Carsten Röcker, Martina Ziefle, *“Smart Health: Open Problems and Future Challenges”*.
- [52] Ediciones Ceac, *“Técnica actual del automóvil”*.
- [53] Robert EDWARDS (JRC), Jean-François LARIVÉ (CONCAWE), J.C. Beziat (2011), *“Well-to-wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, version 3c”*.
- [54] M^a José Núñez García y Pablo García Triñanes, departamento de Ingeniería química de la Universidad de Santiago de Compostela, *“BIOCOMBUSTIBLES: Bioetanol y Biodiésel”*. Galicia
- [55] Carlos Gracia, Universidad de Barcelona, *“Capítulo 4 – Bioetanol”*.
- [56] Bionorte S.A., *“Proceso de fabricación de biodiésel”*.
- [57] *“http://ingemecanica.com/tutoriales/CategoriasdeVehiculos.html”*.



8. ANEXOS:

8.1 ANEXO 1. CATEGORÍAS DE VEHÍCULOS SEGÚN DIRECTIVA 2007/46/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO:

Definición de categorías y tipos de vehículos

A. DEFINICIÓN DE CATEGORÍAS DE VEHÍCULOS

Las categorías de vehículos se definen con arreglo a la clasificación siguiente: (Por «masa máxima» se entenderá la «masa máxima en carga técnicamente admisible», como especifica el punto 2.8 del anexo I.)

1. Categoría M: Vehículos de motor con al menos cuatro ruedas diseñados y fabricados para el transporte de pasajeros.

Categoría M1: Vehículos de ocho plazas como máximo (excluida la del conductor) diseñados y fabricados para el transporte de pasajeros.

Categoría M2: Vehículos con más de ocho plazas (excluida la del conductor) cuya masa máxima no supere las 5 toneladas, diseñados y fabricados para el transporte de pasajeros.

Categoría M3: Vehículos con más de ocho plazas (excluida la del conductor) cuya masa máxima supere las 5 toneladas, diseñados y fabricados para el transporte de pasajeros.

En los apartados 1 (vehículos de la categoría M1) y 2 (vehículos de las categorías M2 y M3) de la sección C del presente anexo figuran las definiciones de los tipos de carrocería y las codificaciones correspondientes a los vehículos de categoría M que deberán utilizarse para los fines especificados en dicha sección.

2. Categoría N: Vehículos de motor con al menos cuatro ruedas diseñados y fabricados para el transporte de mercancías.

Categoría N1: Vehículos cuya masa máxima no supere las 3,5 toneladas diseñados y fabricados para el transporte de mercancías.

Categoría N2: Vehículos cuya masa máxima sea superior a 3,5 toneladas y no supere las 12 toneladas diseñados y fabricados para el transporte de mercancías.

Categoría N3: Vehículos cuya masa máxima supere las 12 toneladas diseñados y fabricados para el transporte de mercancías.

Cuando se trate de un vehículo tractor destinado a ser enganchado a un semirremolque o a un remolque de eje central, la masa que se tomará en consideración para clasificar el vehículo será la del vehículo tractor en orden de marcha, a la que se añadirá la masa correspondiente a la máxima carga estática vertical transferida al vehículo tractor por el semirremolque o el remolque de eje central y, en su caso, la masa máxima de la propia carga del vehículo tractor.

En el apartado 3 de la sección C del presente anexo figuran las definiciones de los tipos de carrocería y las codificaciones correspondientes a los vehículos de categoría N que deberán utilizarse para los fines especificados en dicha sección.

3. Categoría O: Remolques (incluidos los semirremolques).

Categoría O1: Remolques con una masa máxima que no supere las 0,75 toneladas.



Categoría O2: Remolques cuya masa máxima sea superior a 0,75 toneladas y no supere las 3,5 toneladas.

Categoría O3: Remolques cuya masa máxima sea superior a 3,5 toneladas y no supere las 10 toneladas.

Categoría O4: Remolques cuya masa máxima sea superior a 10 toneladas.

Cuando se trate de un semirremolque o de un remolque de eje central, la masa máxima considerada para clasificar el vehículo será la carga vertical estática transmitida al suelo por el eje o ejes del semirremolque o del remolque de eje central cuando estén enganchados al vehículo tractor y cargados al máximo.

En el apartado 4 de la sección C del presente anexo figuran las definiciones de los tipos de carrocería y las codificaciones correspondientes a los vehículos de la categoría O que deberán utilizarse para los fines especificados en dicha sección.

94



8.2.3 HOJA DEL VEHÍCULO DE HIDRÓGENO:

Tabla de datos definitiva - Excel										David Gutierrez Fernandez									
Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista ¿Qué desea hacer?										Compartir									
D12 % Energía de fabricación																			
Datos del vehículo medio										Datos del combustible									
Magnitud	Dato	Fuente de informacion	Comentarios	Magnitud	Dato	Fuente	Comentarios												
Consumo	0,76 kg H2/100km	[7]		Poder calorífico	121,00 MJ/kg	[31]													
	1,00 kg H2/100km	[6]	Valores dados entre 0,8, 1 y 1,2	Densidad	0,08 kg/m³	[31]	A condiciones ambientales												
Valor medio	0,88 kg H2/100km			Poder calorífico/litro	0,010 MJ/L		Valor calculado												
Vida media	300000,00 km	[8]	15 años a 20000 km por año																
	150000,00 km	[7]																	
	300000,00 km	[9]																	
	300000,00 km	[45]																	
Valor medio	262500,00 km																		
ACV del vehículo																			
Fase ACV	Producto	Energía (MJ)	% Energía de fabricación	Fuente	Comentarios														
Proceso y fabricación	Cuerpo del vehículo	25366,13 MJ	25,40%	[2]															
	Unidad de potencia	18075,87 MJ	18,10%	[2]															
	Sistema de transmisión	3195,73 MJ	3,20%	[2]															
	Chasis	19873,47 MJ	19,90%	[2]															
	Motor de tracción	4494,00 MJ	4,50%	[2]															
	Generador	0,00 MJ	0,00%	[2]															
	Controlador electrónico	3695,07 MJ	3,70%	[2]															
	Sistemas auxiliares de la pila d	25166,40 MJ	25,20%	[2]															
	Energía total de fabricación	96000,00 MJ		[8]															
		125600,00 MJ		[9]	con materiales vírgenes y de 1177 kg														
		78000,00 MJ		[9]	con materiales vírgenes y reciclados y de 1177 kg														
	Valor medio	99866,67 MJ	100,00%																
Uso	Extracción y procesamiento	0,04 MJ(PE)/MJ(Fuel)		[10]	datos de hidrogeno gasificado Sin incluir el MJ de fuel														
	Transporte de 1000 a 4000 km	0,08 MJ(PE)/MJ(Fuel)		[10]	datos de hidrogeno gasificado Sin incluir el MJ de fuel														
	Distribución	0,01 MJ(PE)/MJ(Fuel)		[10]	datos de hidrogeno gasificado Sin incluir el MJ de fuel														
	Reformado en central	0,32 MJ(PE)/MJ(Fuel)		[10]	datos de hidrogeno gasificado Sin incluir el MJ de fuel														
	Distribución en gas y compres	0,22 MJ(PE)/MJ(Fuel)		[10]	datos de hidrogeno gasificado Sin incluir el MJ de fuel														
	Total	0,67 MJ(PE)/MJ(Fuel)		[10]	datos de hidrogeno gasificado Sin incluir el MJ de fuel														
	Extracción y procesamiento	0,04 MJ(PE)/MJ(Fuel)		[10]	datos de hidrogeno licuado Sin incluir el MJ de fuel														
	Transporte de 1000 a 4000 km	0,08 MJ(PE)/MJ(Fuel)		[10]	datos de hidrogeno licuado Sin incluir el MJ de fuel														
	Distribución	0,01 MJ(PE)/MJ(Fuel)		[10]	datos de hidrogeno licuado Sin incluir el MJ de fuel														
	Reformado en central	0,32 MJ(PE)/MJ(Fuel)		[10]	datos de hidrogeno licuado Sin incluir el MJ de fuel														
	Licuefacción	0,67 MJ(PE)/MJ(Fuel)		[10]	datos de hidrogeno licuado Sin incluir el MJ de fuel														
	Distribución de líquido	0,04 MJ(PE)/MJ(Fuel)		[10]	datos de hidrogeno licuado Sin incluir el MJ de fuel														
	Movimiento del vehículo	466781,700 MJ																	
Total		566648,367 MJ																	
	Total por kilometro	2,159 MJ																	
ICEV (g) ICEV (d) FCV HEV PHEV BEV GLP NG Biodiésel Etanol																			

96

97

98

99

100

101



8.2.10 HOJA DEL VEHÍCULO DE ETANOL:

Tabla de datos definitiva - Excel											David Gutierrez Fernandez	
¿Qué desea hacer?											Compartir	
N36												
Datos del vehículo medio											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total											Datos de la gasolina	
ACV del vehículo											Datos de la gasolina	
Fase ACV											Datos de la gasolina	
Proceso y fabricación											Datos de la gasolina	
Uso											Datos de la gasolina	
Total												