

Creación y Adaptación de un Generador de Hidrógeno a un Motor de Combustión Interna

Trabajo de Final de Grado



Facultad de Náutica de Barcelona
Universidad Politécnica de Catalunya

Trabajo realizado por:
Arnau Cabrera Gendre

Dirigido por:
María Montserrat Vela del Olmo
Luís Fernández Coteró Campos

Doble Titulación de Grado en Tecnologías Marinas y Grado en
Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval

Barcelona, 8 de diciembre de 2022

Departamento de Matemáticas

Agradecimientos

El presente trabajo se ha realizado bajo la dirección de la señora María Montserrat Vela del Olmo y el señor Luís Fernández Coteró Campos. Quería empezar agradeciendo a mis tutores por la orientación, el seguimiento, y los consejos durante la realización del mismo.

En segundo lugar, me gustaría agradecer a todo aquellos que me han brindado ayuda para la obtención de piezas clave para poder realizar este proyecto, a la empresa “Forés Reciclatges” y talleres Richi.

A mi amigo Alex y Javi, gracias a ellos he podido movilizar el motor des de mi ciudad hasta el sitio donde se ha hecho la restauración y las pruebas

Finalmente, a mis padres, por ser mi pilar, por su apoyo incondicional y el constante soporte.

Resumen

La situación energética en la que nos encontramos, la necesidad de reciclaje de residuos después de su vida útil y las investigaciones sobre el uso del hidrógeno como combustible de una energía sostenible llevan a la elaboración de este proyecto.

Dicho proyecto se basará en la el diseño, construcción y la implementación de un generador de hidrógeno a un motor de combustión, cuando su vida útil se había terminado.

Objetivo general: Diseñar un generador de hidrógeno para alimentar un motor de combustión

Metodología: Se han utilizado varios programas informáticos, el AutoCAD y el Rhinoceros.

Conclusión: después de los resultados obtenidos en este proyecto de final de grado podemos decir que se puede usar el hidrógeno como combustible gracias a la hidrólisis, pero la tecnología relacionada con el hidrógeno no está a la altura de la época actual. La tecnología en este aspecto tiene muchas cosas que mejorar como el almacenamiento de este combustible y los sistemas de seguridad relacionados con él mismo, estos dos factores pueden ser el punto de partida para futuros trabajos a realizar.

Palabras Clave: Energías, hidrógeno, hidrógeno verde, renovables, reutilizado, y Motor Otto

Abstract

The energy situation in which we find ourselves, the need to recycle waste after its useful life and research on the use of hydrogen as a sustainable energy fuel lead to the development of this project.

This project will be based on the design, construction and implementation of a hydrogen generator for a combustion engine when its useful life is over.

Overall goal: Design a hydrogen generator to power a combustion engine

Methodology: Several computer programs have been used, including AutoCAD and Rhinoceros.

Conclusions: In conclusion, we've obtained that hydrogen can be used as fuel thanks to hydrolysis, but the technology related to hydrogen is not up to date. This technology has many things to improve, such as the storage of this fuel and the security systems related to it, these two factors can be the starting point for future projects.

Keywords: Energies, hydrogen, green hydrogen, renewable, reused, and Otto Engine

Introducción

La situación energética actual se fundamenta en un modelo energético insostenible, ya que gran parte de la energía consumida proviene de fuente no renovables, básicamente combustibles fósiles como son el carbón, el gas o el petróleo además de la energía nuclear. Si añadimos que cada año aumenta la población mundial y también el consumo energético, esto provoca que estas fuentes energéticas se agoten más rápidamente y no se pueda abastecer de la energía suficiente, a toda la población para mantener el nivel de vida de los países desarrollados y los países emergentes. (1)

Los problemas derivados de la actual política energética son aquellos relacionados con la contaminación. Algunos de los contaminantes generados en la contaminación de los hidrocarburos son responsables de numerosas enfermedades pulmonares, mientras que otros, como el monóxido de carbono en altas concentraciones, aumentan la probabilidad de sufrir un infarto. Estos contaminantes no solo afectan directamente al ser humano, sino que también lo están haciendo de forma directa gracias al temido efecto invernadero, del que ya están empezando a notar sus efectos en el clima global. (2)

Además del efecto invernadero, también producen el calentamiento global, el oscurecimiento global, la lluvia ácida... perjudiciales para la vida y el medio ambiente. (1)

Los gases que producen el efecto invernadero y que son emitidos por los vehículos y motores en general, que utilizan combustibles fósiles, han motivado la investigación de composiciones de nuevas combinaciones de combustibles con el objetivo de disminuir la cantidad de dichas emisiones. Muchas universidades y empresas de automotrices en el mundo invierten esfuerzos en el desarrollo de nuevas fuentes de energía no tan contaminantes que brindan la misma o mejor prestación de servicio en los motores que los entregados por los combustibles tradicionales. (3)

El transporte marítimo es un gran contribuyente a la contaminación del aire. La gran mayoría de las emisiones de óxido de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SOx) y partículas en las zonas marítimas de la UE son emitidas por los buques de carga de más de 500 TRB (Toneladas de Registro Bruto). Se estima que alrededor del 45% de las emisiones provienen de buques con pabellón de la UE y aproximadamente el 20% de las emisiones se emiten dentro de las 12 millas de mar territorial.(4)

El transporte marítimo en Europa tiene una gran importancia para la cohesión y desarrollo económico de la Unión Europea, pero su gran inconveniente es la gran emisión de azufre, gran contaminante, sobre todo en las zonas costeras. Por ello, desde la Comisión Europea se han

definido una serie de zonas marinas protegidas que son particularmente sensibles a la contaminación y exigen límites estrictos de azufre en los combustibles de los buques, son las llamadas SECAs (Sulphur Emission Control Areas).

Durante los últimos años, los mayores desafíos de la política energética y medioambiental de la Unión Europea (UE) han sido implementar una serie de políticas y medias destinadas a mitigar el calentamiento global, mejorar la calidad del ambiente y reducir el consumo energético. Para el año 2050 se han establecido unos objetivos globales en la UE para posibilitar la reducción del 80-95% en relación con el año 1990 en la emisión de Gases de Efecto invernadero (GEI) (5)

En concreto en el sector del transporte, responsable aproximadamente del 25% de emisiones de GEI, se ha establecido el objetivo de reducción del 60% en la emisión de GEI para el año 2050. Los vehículos, mayoritariamente con motores de combustión, generan principalmente óxido de nitrógeno (NO) y dióxido de carbono (CO₂). La emisión de (NO) se puede reducir mediante convertidores catalíticos en los sistemas de escape. Las emisiones de (CO₂) se pueden reducir disminuyendo el consumo de los vehículos, utilizando biocombustibles que dan lugar a emisiones netas más bajas, hibridando con motores eléctricos, o utilizando vehículos eléctricos o de hidrógeno. (5)

Una de las soluciones a este problema pasa por utilizar un modelo energético sostenible, utilizando fuentes renovables de energía, como la energía eólica, solar, mareomotriz o el hidrogeno como combustible. Estas fuentes son inagotables y limpias, ya que no producen ningún tipo de contaminante ni residuo durante la generación de energía. (1)

Los vehículos que usan hidrogeno como combustible no han sido inventados recientemente. La historia del hidrógeno como combustible para automóviles empezó a principios del siglo XIX, Francois Isaac de Rivaz ya había diseñado varios automóviles impulsados por vapor de agua. Pero Rivaz también comenzó a desarrollar un motor de combustión interna, e instaló una carrocería alrededor de su motor. En 1813 sus investigaciones ofrecieron los primeros resultados, logró encender el motor veinticinco veces consecutivas, suficientes para que su vehículo se desplazara unos cientos de metros. El combustible que empleaba no era otra cosa que una mezcla de hidrogeno y oxigeno almacenada en un balón. En 1920 comienza la producción industrial de hidrogeno, en 1962 la NASA introduce las pilas de combustible en misiones especiales, en 1977 se inicia el programa de hidrogeno de la agencia internacional de la energía, en el 2002 se crea el grupo de alto nivel en Europa y en el 2003 se firma el "Internacional Partnership on Hydrogen Economy" (6)

La tecnología del uso del hidrógeno como un método de mejora de la combustión en motores de combustión interna, ha sido investigada y verificada durante años. Los resultados muestran que una pequeña cantidad de hidrogeno añadida a la mezcla aire y combustible de entrada, mejoraría la velocidad de la llama y permitiría que el motor funcione con mezclas pobres. En consecuencia, el hidrógeno tiene un efecto catalizador que provoca una combustión más completa del combustible y produce una reducción significativa en las emisiones de escape con más potencia y mejor kilometraje. (3)

Por otra parte, los restos de un vehículo cuando llega al final de su vida útil, son altamente contaminantes si no se reciclan adecuadamente. En los países de la Unión Europea esta problemática se empezó a discutir a principios de la década de los noventa y en septiembre del 2000 el Parlamento de la Unión Europea¹ aprobó la Directiva² 2000/54/EC que regula el tratamiento de los vehículos automotores que llegan al final de su vida útil (ELV, por sus siglas en inglés: End of Life Vehicles). (7)

El renacimiento industrial de Europa solo se podrá llevar a cabo si se utilizan y reciclan de manera óptima los recursos limitados de los que dispone, por lo tanto, es necesario situar la recuperación de los residuos en el centro de los nuevos modelos económicos. Un uso más eficaz de los recursos puede dar lugar a nuevas perspectivas de crecimiento y una oportunidad de construir un nuevo motor del crecimiento económico en Europa. (8)

Se debe considerar que cerrar los ciclos de materiales y consumo no es una tarea sencilla, especialmente porque los insumos y desperdicios de la sociedad son compuestos, quiere decir que los materiales han sufrido procesos como aleaciones, laminados o recubiertos y presentan un reto diferente para su reutilización o reciclaje, y en ocasiones los procesos de recuperación resultan altamente contaminantes o no viables económicamente. (7)

Tabla de contenidos

AGRADECIMIENTOS.....	1
RESUMEN.....	2
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN.....	4
TABLA DE CONTENIDOS	7
LISTADO DE FIGURAS	10
LISTADO DE ECUACIONES.....	13
LISTADO DE TABLAS	14

CAPÍTULO 1. LA ENERGÍA EN EUROPA ACTUALMENTE..... 1

1.1. EUROPA YA CONSUME MENOS COMBUSTIBLES FÓSILES	1
1.2. PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD	2
1.3. LAS ENERGÍAS RENOVABLES VAN EN AUMENTO	3
1.4. LA AMENAZA DEL TRANSPORTE	4
1.5. CONSECUENCIAS DE LA ELECCIÓN DE COMBUSTIBLE	4
1.6. LA UTILIZACIÓN DE RECURSOS EN UNA ECONOMÍA CIRCULAR	5

CAPÍTULO 2. ENERGÍA..... 7

2.1. DIFERENTES FORMAS DE ENERGÍA	7
2.2. UNIDADES DE MEDIDA DE LA ENERGÍA.....	8
2.3. PRINCIPIOS DE LA TERMODINÁMICA	8
2.4. LOS RECURSOS NATURALES	9
2.4.1. PETRÓLEO.....	9
2.4.2. CARBÓN	14
2.4.3. GAS	17
2.4.4. ENERGÍA SOLAR	20
2.4.5. ENERGÍA EÓLICA	24
2.4.6. ENERGÍA HIDRÁULICA.....	26
2.4.7. ENERGÍA DE LAS MAREAS	27
2.4.8. ENERGÍA GEOTÉRMICA	28
2.4.9. ENERGÍA DE LA BIOMASA.....	30

CAPÍTULO 3. HIDRÓGENO 32

3.1.	INTRODUCCIÓN	32
3.2.	HISTORIA.....	33
3.3.	PROPIEDADES Y ESTRUCTURA.....	34
3.4.	ENERGÍA DEL HIDRÓGENO	35
3.5.	ISOTOPOS	36
3.5.1.	DIHIDRÓGENO	37
3.6.	OBTENCIÓN DEL HIDRÓGENO	38
3.6.1.	PIRÓLISIS.....	39
3.6.2.	GASIFICACIÓN.....	39
3.6.3.	REFORMADO	40
3.6.4.	ELECTRÓLISIS.....	42
3.7.	USOS DEL HIDRÓGENO	42
3.7.1.	APLICACIONES PORTÁTILES	43
3.7.2.	APLICACIONES ESTACIONARIAS	46
3.7.3.	APLICACIONES EN EL TRANSPORTE	48
3.7.4.	APLICACIONES ESPACIALES	49
3.7.5.	APLICACIONES MARÍTIMAS	51
3.8.	ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE	56

CAPÍTULO 4. MOTOR OTTO CUATRO TIEMPOS 60

4.1.	PARTES DE UN MOTOR	60
4.2.	APLICACIONES DE MOTORES 4 TIEMPOS A LA INDUSTRIA NAVAL	61
4.2.1.	MOTORES FUERABORDA.....	62
4.3.	FUNCIONAMIENTO CICLO OTTO CUATRO TIEMPOS	65
4.3.1.	TIEMPOS DEL CICLO OTTO IDEAL DE CUATRO TIEMPOS	65
4.3.2.	TIEMPOS DEL CICLO OTTO REAL DE CUATRO TIEMPOS	67
4.4.	CÁLCULOS TERMODINAMICOS DEL MOTOR.....	69
4.4.1.	NOMENCLATURA Y ECUACIONES	69
4.4.2.	CÁLCULOS TERMODINÁMICOS USANDO GASOLINA COMO COMBUSTIBLE	71
4.4.3.	CÁLCULOS TERMODINÁMICOS USANDO HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE	74
4.4.4.	COMPARATIVA ENTRE EL CICLO OTTO CON GASOLINA Y CON HIDRÓGENO	77

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS Y REPARACIÓN DEL MOTOR 79

5.1.	TIPO DE MOTOR	80
5.2.	ESTADO DEL MOTOR	81
5.3.	OPERACIONES DE RESTAURACIÓN	82

5.3.1.	FILTRO DEL AIRE.....	82
5.3.2.	CARBURADOR	84
5.3.3.	TAPA DE BALANCINES	85
5.3.4.	CULATA.....	86
5.3.5.	CILINDRO.....	86
5.3.6.	PISTÓN Y BULÓN	87
5.3.7.	CAMBIO DE BUJÍA.....	88
5.3.8.	CAMBIO DE ACEITE	89
5.3.9.	CIRCUITO ELÉCTRICO.....	89
<u>CAPÍTULO 6. CREACIÓN DEL GENERADOR DE HIDRÓGENO</u>		<u>91</u>
6.1.	INTRODUCCIÓN	91
6.2.	DISEÑO 3D CON RHINOCEROS	91
6.3.	CÁLCULOS RELACIONADOS CON EL GENERADOR	94
6.3.1.	NOMENCLATURA	94
6.3.2.	CÁLCULOS.....	95
6.4.	PIEZAS DEL GENERADOR	97
6.5.	ARMAMENTO DEL GENERADOR	100
<u>CAPÍTULO 7. PRUEBAS</u>		<u>104</u>
7.1.	PRUEBA UNO	104
7.2.	PRUEBA DOS.....	105
7.3.	PROBLEMAS DETECTADOS.....	105
	107	
	CONCLUSIONES.....	108
<u>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....</u>		<u>109</u>

Listado de Figuras

Figura 1 Producción de electricidad en UE. Fuente, (7)	2
Figura 2 Capacidad instalada de energías renovables. Fuente, (7)	3
Figura 3 Yacimiento de petróleo. Fuente,(15)	10
Figura 4 Carbón. Fuente, (16).....	15
Figura 5 Extracción de gas en el mar. Fuente,(18).....	18
Figura 6 Energía solar. Fuente, (19)	21
Figura 7 Placas fotovoltaicas. Fuente, (20)	23
Figura 8 Energía Solar térmica. Fuente,(19)	24
Figura 9 Aerogeneradores. Fuente, (21)	25
Figura 10 Presa de una central hidroeléctrica. Fuente, (22).....	27
Figura 11 Energía undimotriz. Fuente, (23)	28
Figura 12 Magma. Energía geotérmica. Fuente,(25)	29
Figura 13 Biomasa. Fuente,(26).....	31
Figura 14 Isótopos naturales del hidrógeno. Fuente, (58)	36
Figura 15 Estructura atómica del dihidrógeno. Fuente, (32)	37
Figura 16 Formas de creación de hidrógeno. Fuente,(59)	38
Figura 17 Esquema de la electrólisis. Fuente,(38)	42
Figura 18 Esquema de un teléfono móvil alimentado con pila de hidrógeno. Fuente, (39)	44
Figura 19 Ordenador portátil alimentado con una pila de hidrógeno. Fuente, (39)	45
Figura 20 Pilas de hidrógeno estacionarias. Fuente,(39)	47
Figura 21 Pila de combustible de Mitsubishi. Fuente, (60)	48
Figura 22 Esquema del funcionamiento de un cohete espacial. Fuente, (61).....	50
Figura 23 Fitur, embarcación de Balearia. Fuente,(40).....	52

Figura 24 Energy Observer. Fuente, (42)	53
Figura 25 Energy Observer desde arriba. Fuente, (42).....	53
Figura 26 Energy Observer II. Fuente, (44)	54
Figura 27 Planta offshore. Fuente,(45).....	55
Figura 28 Sistemas de producción, transporte y almacenaje de hidrógeno. Fuente, (45).....	56
Figura 29 Gaseoducto de hidrógeno. Fuente, (59)	57
Figura 30 Depósitos tipo I de hidrógeno comprimido. Fuente, (62).....	58
Figura 31 Camión de transporte de hidrógeno gaseoso a alta presión. Fuente, (63).....	58
Figura 32 Buque gasero transportando hidrógeno. Fuente, (64).....	59
Figura 33 Partes esenciales de un motor cuatro tiempos. Fuente, (47)	61
Figura 34 Motor MAN 20V45/60. Fuente,(65)	61
Figura 35 Motor fueraborda Waterman Porto. Publicidad de 1914. Fuente, (52).....	62
Figura 36 Motor fueraborda ELTO 1921. Fuente,(52).....	63
Figura 37 Motor Honda de cuatro tiempos y 50 HP. Publicidad Honda. Fuente,(52).....	64
Figura 38 Diagrama de apertura y cierre de válvulas en un ciclo Otto ideal de cuatro tiempos. Fuente,(51).....	67
Figura 39 Tiempos de un ciclo Otto cuatro tiempos. Fuente,(51)	67
Figura 40 Tiempos de un ciclo Otto cuatro tiempos. Fuente, (51)	68
Figura 41 Diagrama de apertura y cierre de válvulas en un ciclo Otto 4 tiempos real. Fuente,(51)	68
Figura 42 Emblema de la empresa "Reciclatge Fores". Fuente,	79
Figura 43 Motor antes de la restauración. Fuente, Autores.....	82
Figura 44 Filtro del aire extraído. Fuente, Autores.....	83
Figura 45 Caja del filtro del aire. Fuente, Autores	84
Figura 46 Carburador desmontado. Fuente, Autores	85
Figura 47 Tapa de balancines extraída. Fuente, Autores.....	85
Figura 48 Culata extraída. Fuente, Autores.....	86
Figura 49 Cilindro extraído. Fuente, Autores.	87
Figura 50 Cabeza del pistón extraída. Fuente, Autores.....	87
Figura 51 Cabeza del pistón extraída. Fuente, Autores.....	88
Figura 52 Bujía extraída y deteriorada. Fuente, Autores.....	88
Figura 53 Aceite lubricante SAE 10w-40. Fuente, (66).....	89

Figura 54 Circuito eléctrico Pioneer XF125L. Fuente, (56)	89
Figura 55 Circuito eléctrico básico. Fuente, Autores	90
Figura 56 Vasos diseñados en Rinoceros. Fuente Autores	92
Figura 57 Placas de acero 304. Fuente, Autores	92
Figura 58 Arandelas de Nylon. Fuente, Autores.....	93
Figura 59 Arandela de acero. Fuente, Autores	93
Figura 60 Celdas montadas en las varillas. Fuente, Autores.....	93
Figura 61 Generador de hidrógeno modelado en Rinoceros 7. Fuente, Autores	94
Figura 62 Filtro de agua. Fuente, Autores	98
Figura 63 Placas, arandelas y tuercas utilizadas. Fuente, Autores	99
Figura 64 Piezas de latón utilizadas. Fuente, Autores.....	99
Figura 65 Placas montadas. Fuente, Autores.....	100
Figura 66 Esquema eléctrico de la celda. Fuente, Autores.....	101
Figura 67 Comprobación de las placas, circuito cerrado entre varilla 1 y placa 1. Fuente, Autores	102
Figura 68 Comprobación de las placas, placa aislada de la varilla 1. Fuente, Autores	102
Figura 69 Motor y generador de hidrógeno montado. Fuente, Autores	103
Figura 70 Elementos del circuito eléctrico. Fuente, Autores	104
Figura 71 Motor y generador montado. Fuente, Autores	106
Figura 72 Motor. Fuente, Autores	107

Listado de Ecuaciones

Ecuación 1 Rendimiento térmico ideal.....	69
Ecuación 2 Trabajo realizado por la compresión del pistón	69
Ecuación 3 Trabajo realizado por la expansión del pistón.....	69
Ecuación 4 Calor aportado al cilindro por el combustible	69
Ecuación 5 Calor cedido al exterior.....	70
Ecuación 6 Grado de compresión	70
Ecuación 7 Rendimiento	70
Ecuación 8 Masa del aire según la ley de los gases ideales	70
Ecuación 9 Compresión adiabática	70
Ecuación 10 Compresión adiabática	70
Ecuación 11 Expansión adiabática	70
Ecuación 12 Expansión adiabática	70
Ecuación 13 Volumen de placa.....	95
Ecuación 14 Volumen de la celda	95
Ecuación 15 Área de la placa.....	96
Ecuación 16 Área de la celda.....	96
Ecuación 17 Conductividad del electrolito.....	96
Ecuación 18 Cálculo de constante.....	96
Ecuación 19 Cálculo del volumen de hidrógeno desprendido	96
Ecuación 20 Cálculo del volumen de oxígeno desprendido.....	97
Ecuación 21 Reacción química de la reducción del cátodo	97
Ecuación 22 Reacción química de la oxidación del ánodo.....	97
Ecuación 23 Suma de las semirreacciones.....	97

Listado de Tablas

Tabla 1	Tabla que relaciona HP con la eslora. Fuente, (52).....	64
Tabla 2	Tabla resumen de las especificaciones del motor. Fuente,(56)	71
Tabla 3	Tabla comparativa entre los resultados según el combustible utilizado. Fuente, Autores. 77	
Tabla 4	Tabla resumen de las especificaciones del motor. Fuente,(56)	81

Capítulo 1. La energía en Europa actualmente

Europa ya consume menos energía que hace 10 años, gran parte por el aumento de la eficiencia energética. Europa también utiliza menos combustibles fósiles gracias al ahorro de energía y a la utilización de energías renovables. Entre los años 2005-2015, la proporción en la utilización de energías renovables en Europa se duplicó, pasando del 9% a casi el 17%. I, aunque ya son muchos los países que han aumentado el consumo de combustibles renovables y se opta por una energía limpia queda aún mucho trabajo por hacer por qué los combustibles fósiles siguen siendo la fuente de energía dominante en Europa. (9)

1.1. Europa ya consume menos combustibles fósiles

En la Unión Europea UE, ya se ha visto un cambio y un aumento en la utilización de las fuentes de energía renovables. Pero todavía estamos consumiendo un 72,6% en la utilización de combustibles fósiles. En Europa entre los años 2005-2015 se ha reducido más de un 10% el consumo de energía, y alcanzó casi los 1630 millones de toneladas equivalentes de petróleo en 2015. Gracias a las mejoras en la eficiencia energética, el aumento de la proporción de energías renovables, los cambios estructurales en la economía y la recesión económica de 2008; hemos podido disminuir el consumo de energía. Los inviernos más cálidos también ha ayudado a la reducción de la cantidad de energía destinada a calefacción. (9)

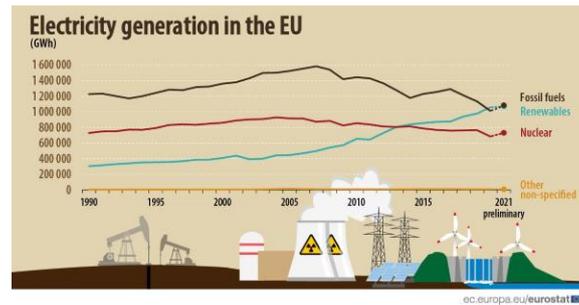


Figura 1 Producción de electricidad en UE. Fuente, (7)

1.2. Producción de electricidad

Muchos sectores ya están abandonando los combustibles fósiles. Esta reducción entre 1990 y 2015 se observa en la producción de electricidad a partir del carbón y el lignito¹ que se ha sustituido por la electricidad generada a partir de gas natural durante la década de 1990 y hasta 2010, debido en especial al descenso de los precios del gas. Pero, en los últimos años el gas natural ha perdido terreno por la rápida adopción de sistemas de producción de energía eléctrica renovable y la crisis económica de 2008, que redujo la demanda general de electricidad. El aumento del precio del gas impulsado por la aplicación del índice de adaptación de los precios del gas y el petróleo y el bajo precio del carbón debido a los excedentes que había han desempeñado también su papel. La sustitución del carbón y el petróleo por alternativas más limpias es un hecho evidente y contribuye a reducir la emisión de gases de efecto invernadero en todos los sectores que consumen electricidad. De hecho, esta sustitución contribuye asimismo a la transición energética que hay en Europa, por la que se pasa de un sistema de energía basado principalmente en combustibles fósiles a otro basado en fuentes de energía renovables y limpias. En 2015, la energía nuclear generó el 26,5% de la electricidad en la UE, ésta continúa siendo la mayor productora de electricidad, le siguen los combustibles fósiles y las energías renovables. Después del accidente de Fukushima en 2011, varios países de la UE pretenden acabar con la energía nuclear y quieren dismantelar las centrales nucleares. Los costes de la producción de la energía nuclear están aumentando mucho porque se invierte demasiado en revisiones de mantenimiento extraordinarias y en grandes medidas de seguridad, por eso la electricidad a partir de otras fuentes es más competitiva. Las centrales eléctricas, una vez que entran en funcionamiento, pueden generar electricidad durante décadas. Al seleccionar la fuente de energía que se va a utilizar para la producción de electricidad han de tenerse en cuenta las plantas existentes y las previstas, así como su capacidad y sus años de vida; de lo contrario, podría ser necesario realizar

¹ Tipo de carbón muy abundante que posee mayor poder calorífico que la turba.

inversiones en nuevas centrales de generación de energía basadas en combustibles fósiles. Asimismo, en la adopción de este tipo de decisiones de inversión, se ha de tener presente los objetivos a largo plazo de la UE relativos al clima. (9)

1.3. Las energías renovables van en aumento

Des de 2005 las energías renovables crecen rápidamente. Este hecho se puede atribuir a la reducción de los costes en tecnologías de energías renovables, de la energía eólica y de la energía solar voltaica y a las políticas de apoyo a este tipo de energías adoptadas a escala nacional y de la UE. Todos los Estados miembros que pertenecen a la UE aplican políticas para la utilización de energías renovables y mecanismos de investigación para las mismas. Cada vez hay más hogares europeos que pueden comprar la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables, hay producción de electricidad a partir de la energía eólica, solar o de la biomasa. La producción, en 2015 las energías renovables representaban el 77 % de la nueva capacidad de generación de energía en la UE. Con arreglo a los datos de Eurostat más recientes, en relación con el consumo final bruto de energía, la proporción de energía procedente de fuentes renovables aumentó casi al 17% en 2015, a diferencia del 9% de 2005. Este indicador es uno de los principales de la estrategia Europa 2020, que establece la meta del 20% del consumo final bruto de energías renovables para esa fecha. Para el 2030 Las instituciones de la UE debaten proponen que el objetivo se sitúe en 27% por lo menos, dado que se espera que las renovables adquieran un papel incluso más importante para que Europa cubra gran parte de sus necesidades energéticas del futuro. (9)

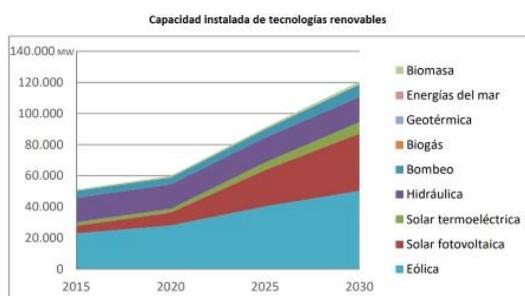


Figura 2 Capacidad instalada de energías renovables. Fuente, (7)

1.4. La amenaza del transporte

Entre los diferentes países hay diferencias en el uso de las energías renovables según a que sector de mercado energético se vaya a utilizar electricidad, calor, refrigeración, transporte...

En 2015 en el sector del transporte representaba una proporción muy baja, solo un 6,7% del consumo de energía, a pesar el crecimiento del consumo de los biocombustibles. El transporte por carretera ha mejorado notablemente en relación con la eficiencia energética en los últimos años, las mejoras de la eficiencia en el consumo de combustible derivadas de las normas de la UE sobre emisiones de los vehículos para los turismos y furgonetas nuevos han contribuido. La demanda de transporte por carretera va en aumento y a pesar de dichas mejoras continuas hay un incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero en este sector en 2014 y 2015. En el sector del transporte aéreo, las emisiones del efecto invernadero, aunque están disminuyendo por pasajero y kilómetro, continúan siendo más altas que en el sector del transporte por carretera. El medio de transporte con el nivel de emisiones más bajo por pasajero y por kilómetro, continúa siendo el transporte ferroviario. (9)

El sector naval es el más importante dentro del mundo del transporte y el comercio mundial. El transporte marítimo supone el 90% de todo el movimiento de mercancías a nivel global. Esta actividad estratégica llega a consumir hasta un 10% de todo el crudo de la tierra. (10)

En los Estados miembros de la UE, el consumo de energías renovables está aumentando desde 2005. Suecia en la cabecera, con un 53,9% de su consumo final bruto de energía en 2015 procedente de fuentes renovables. Después le sigue Finlandia con un 39,3%, y siguiendo a Finlandia se encuentran Letonia, Austria y Dinamarca. De los 27 estados miembros de la UE, solo 11 alcanzaron o superaron su objetivo para 2020 fijado en la Directiva de la UE sobre energía procedente de fuentes renovables.(9)

La utilización de fuentes de energía renovables varía entre los diferentes estados miembros de la UE. Estonia utiliza biomasa sólida casi de manera exclusiva, en cambio Irlanda, más de la mitad de la producción de energía renovable primaria procede de la energía eólica, y en Grecia, las fuentes son diversas: biomasa, hidráulica, eólica y solar, por orden de importancia.(9)

El transporte naval, aunque en su conjunto sea el menos contaminante, probablemente sea el más concienciado y motivado para reducir sus emisiones. La lucha contra la contaminación empezó hace años con la implantación del doble casco y continuó con el estudio de combustibles más limpios que perjudican menos al cambio climático como el Gas Natural Licuado. Posteriormente se experimentaron técnicas muy curiosas como la utilización de velas rígidas o incluso el increíble aporte de cometas.(10)

1.5. Consecuencias de la elección de combustible

Los residuos de los combustibles fósiles impactan directamente con la contaminación atmosférica y el cambio climático. Cuando se queman combustibles fósiles eliminan contaminantes óxidos de

nitrógeno, óxidos de azufre, compuestos orgánicos volátiles no derivados del metano, partículas finas y gases de efecto invernadero en la atmósfera. Los residuos nucleares son muy difíciles de eliminar de forma segura. (9)

La combustión de biomasa también puede tener efectos perjudiciales en la calidad del aire y el cambio climático. Los biocombustibles plantean problemas relativos al uso del suelo, lo que añaden presiones a los recursos terrestres e hídricos. Si se usaran residuos agrícolas y forestales o el aceite de cocina utilizado para producir biocombustibles de segunda generación podrían ayudar a reducir algunas de estas presiones. Algunos sectores económicos están estrechamente relacionados con determinados contaminantes atmosféricos. El transporte por carretera, como funciona con motores de combustión, es una fuente importante de óxidos de nitrógeno y partículas que influyen en la calidad del aire. El sector de producción y distribución de energía también es el responsable de más de la mitad de las emisiones de óxidos de azufre y de una quinta parte de las emisiones de óxidos de nitrógeno en los 33 países miembros de la AEMA². No obstante, y sí que es verdad que las emisiones de contaminantes a la atmósfera se han reducido en la mayoría de los países de la UE, los niveles actuales aun representan grandes riesgos para la salud humana, porque los contaminantes atmosféricos están relacionados con las complicaciones de enfermedades respiratorias y las cardiovasculares. Según el contaminante pueden ayudar negativamente al cambio climático y afectar al medio ambiente. El carbono negro es uno de los componentes comunes del hollín que contienen las partículas finas con diámetro inferior a 2,5 micras, podría ser un ejemplo.(9)

En zonas urbanas, las emisiones de carbono negro proceden principalmente del tráfico rodado, y en particular de los motores diésel. El carbono negro de las partículas, aparte de los efectos que produce en la salud humana, contribuye al cambio climático calentando la atmósfera por la absorción del calor del sol. (9)

1.6. La utilización de recursos en una economía circular

Independientemente del combustible escogido para satisfacer nuestras necesidades energéticas, es necesario la utilización de un recurso, ya sea el suelo, el agua, los minerales, la madera o la energía.

En la elección de combustibles fósiles, alcanzar a nuevas reservas y a su extracción requeriría el uso de fondos privados y públicos para construir nuevas instalaciones en tierra y en el mar,

² Agencia Europea de Medio Ambiente.

centrales eléctricas y refinerías, conductos para transportarlas... por no decir de los efectos en la salud, en la calidad del aire y del clima, la mayor reclamación y vinculación de los combustibles fósiles también podría inducir a los países a ampliar sus actividades de perforación a otras regiones y a usar más suelo o zonas marinas para la extracción, lo que supondrían nuevos riesgos, por los vertidos de petróleo o la contaminación. De la misma manera, el uso incrementado en el uso de las energías renovables podría relacionarse con una mayor demanda de materiales como los elementos de tierras raras, utilizados en baterías o paneles fotovoltaicos. Los paneles solares y los parques eólicos precisan de grandes espacios ya sea en tierra o en el mar, para poder generar energía. (9)

Como sucede con otras actividades de generación de energía, los paneles solares y los parques eólicos también necesitan espacio, ya sea en tierra firme o en el mar. También existe una gran demanda de tierras productivas y recursos de agua dulce para la producción de bioenergía, incluidos la biomasa y los biocombustibles. No siempre resulta fácil determinar cuánta superficie en general se necesita para producir energía renovable en cantidades suficientes como para poder suprimir de forma progresiva la utilización de combustibles fósiles. (9)

Algunos países podrían tener más potencial de energía solar y eólica, entretanto otros países cubrirían sus necesidades energéticas a partir de fuentes geotérmicas. Ajeno a eso las infraestructuras y los aparatajes para producir la energía van a quedar desfasados por su uso y por el paso de las décadas. El problema continúa cuando los paneles, las baterías... lleguen al final de la vida útil, se tendrá que gestionar los residuos generados. (9)

Las energías renovables ofrecen la oportunidad de plantear una solución técnica, como sucede con los paneles solares, de conformidad con los principios de la economía circular, algunos de sus componentes se pueden reutilizar, recuperar o incluso reciclar. Los posibles beneficios no solo se verían al final de su vida, sino ya serían visibles durante sus años de vida útil. Si el territorio estuviera ordenado de otra manera, el diseño urbanístico pudiera contemplar la integración de paneles solares en los tejados, o las barreras acústicas de las autopistas pudieran reducir también algunos problemas en relación con el uso del suelo, habría una reducción de la contaminación acústica y visual. Las soluciones tecnológicas o el diseño pueden ciertamente ayudar a reducir los efectos negativos del uso de la energía que hacemos en la actualidad. La elección en el tipo de energía que queremos utilizar los consumidores, los inversores y los responsables de las políticas si va a favor de la utilización en el uso de energías limpias pueden ser una fuerza intensa para favorecer un replanteamiento total del modo en que consumimos y producimos energía en unas cuantas décadas. De modo similar, un uso más eficiente de todos los recursos (evitando residuos, reutilizando y reciclando) podría ayudar a reducir la necesidad global de energía. (9)

Capítulo 2. Energía

La energía es algo inmaterial y fundamental del universo. La energía en la tierra es la encargada de iluminar las ciudades, de movilizar todo tipo de transporte desde los automóviles, camiones, buses, hasta los buques y los aviones tanto para el transporte de personas como de productos; también es la encargada de climatizar y proporcionar calor a nuestros hogares.

Está claro que esta esencia, desprovista de componentes, es vital para la existencia de nuestra civilización. Energía proviene del griego *energeia*, significa actividad o fuerza. La energía se define como la capacidad de efectuar un trabajo. Las labores de este trabajo pueden ser mecánicas, físicas, químicas o eléctricas. El trabajo es el producto de una fuerza por la distancia.

2.1. Diferentes formas de energía

La energía se dispone de diferentes formas. En la mecánica se puede manifestar de dos maneras: energía cinética y energía potencial. La energía cinética es una energía asociada con el movimiento y la energía potencial es la energía que adquiere un cuerpo cuando se lleva a una determinada posición en contra de una fuerza.

A parte de estas dos formas mecánicas de la energía existen otros tipos de energía:

La energía térmica: asociada a los movimientos de los átomos y de las moléculas. La energía química: la energía que se almacena en el interior de las unidades estructurales de los átomos, moléculas o iones. La energía bioquímica: es la energía química que está presente en el desarrollo de los seres vivos. La energía metabólica: se genera por los organismos vivos gracias a los procesos de oxidación como consecuencia de los alimentos que ingieren. La energía eléctrica: es el movimiento de electrones que constituye la corriente eléctrica, partículas que se mueven en un conductor por la fuerza ejercida sobre ellas por un campo eléctrico. La energía radiante o solar: proviene del sol y es la principal fuente de energía del planeta Tierra, es la energía de la luz. La energía del mar: es la energía que tienen las olas, mareas, corrientes y gradientes de temperatura del agua del mar. La energía eólica: es la energía del viento, que se debe al movimiento del aire ocasionado por el desigual calentamiento de la superficie terrestre. La energía geotérmica: es el calor contenido en los materiales que componen el núcleo y el manto de la Tierra que se transmite paulatinamente a la corteza, generando un flujo ascendente de calor. La energía acústica: se manifiesta en los fenómenos sonoros. La energía electromagnética: se refiere a la

energía que se mueve a la velocidad de la luz en un patrón de ondas armónicas. La energía nuclear: es la energía que une a los nucleones, neutrones y protones en el núcleo de un átomo.(11)

2.2. Unidades de medida de la energía

En el Sistema Internacional (SI) de medidas se utilizan las siguientes definiciones energéticas:

- Newton (N) es la fuerza que, ejercida sobre un cuerpo de masa de 1kg, le comunica una aceleración de 1m/s^2
- Julio (J) es la unidad de energía y trabajo que se define como el trabajo que realiza una fuerza de 1 N sobre un cuerpo que se desplaza 1 m en la dirección y sentido de la fuerza.
- Vatio (W) es la unidad de potencia que, como se ha visto, es la energía desarrollada por unidad de tiempo, segundos. $1\text{W} = 1\text{ J/s}$ (12,13)

2.3. Principios de la termodinámica

Principio de equilibrio térmico

El principio del equilibrio térmico se basa en la transferencia de calor. La idea central de este principio es que, si un objeto térmico 1 está en equilibrio con el 2, y este está en equilibrio con un tercero podemos asegurar que el 1 y el 3 también están en equilibrio. La conductividad entre los objetos es la razón para que haya un equilibrio térmico.

Existen numerosos ejemplos prácticos de este principio, pero los más conocidos son los termómetros y los refrigeradores.(14)

Principio de conservación de la energía

El principio de conservación de energía indica que la energía no se crea ni se destruye; solo se transforma de unas en otras. En estas transformaciones, la energía total permanece constante; es decir que la energía total es la misma antes y después de cada transformación.

La tendencia de un sistema será la de conservar la energía. Ahora bien, esa conservación de energía no es absoluta ya que siempre hay pérdidas de fricción, por ejemplo.(14)

Principio de entropía

El principio de entropía indica básicamente, que es imposible el aprovechamiento al 100% de la energía que se envía. Es decir, la eficacia nunca será máxima.(14)

Principio del cero absoluto

La idea básica es que, los átomos de un objeto no se moverán en el caso de alcanzar una temperatura de $-273,15^{\circ}\text{C}$. A medida que nos acercamos a esta temperatura se dan fenómenos aplicables a la industria, como la superfluidez y la superconductividad. Por lo tanto, es útil conocer ambas circunstancias porque pueden proporcionar varias aplicaciones interesantes. (14)

2.4. Los recursos naturales

Los recursos naturales son todos aquellos bienes materiales y servicios que proporciona la naturaleza por satisfacer nuestras necesidades. Estos recursos son preciados para los humanos porque ayudan directamente a su bienestar y desarrollo. Los recursos se clasifican en renovables o no renovables según su disponibilidad en el tiempo, su tasa de recuperación y rapidez en su utilización y en su consumo. Los recursos naturales renovables son los propios del suelo y del mar, la energía solar. Los recursos naturales no renovables son los que tienden a agotarse porque proceden de depósitos limitados o sus ciclos de regeneración son mucho más elevados que su extracción, son los hidrocarburos fósiles como el petróleo, el carbón o el gas; también algunos minerales como el uranio, el cobre o el oro; y el agua contenida en los acuíferos sin recarga. (1)

2.4.1. Petróleo

El petróleo, del griego: πετρέλαιον, "aceite de roca", mezcla homogénea de compuestos orgánicos, en su mayoría hidrocarburos insolubles en agua. También es conocido como petróleo crudo o solo crudo. El petróleo es una mezcla compleja no homogénea de hidrocarburos. Los hidrocarburos son compuestos formados por hidrógeno y carbono. Es un recurso natural no renovable, materia prima de numerosos materiales y productos y, dentro del combustible fósil, es la principal fuente de energía primaria en el mundo.

Dentro de los diferentes tipos que existen, hay diferencias significativas entre ellos debido a los diferentes tipos de hidrocarburos. Pueden ser desde amarillentos y líquidos a negros y viscosos.

Esta mezcla de hidrocarburos aparece generalmente asociada a grandes depósitos de gas natural, en yacimientos cerrados durante miles de años bajo tierra, cubiertos por los estratos superiores de la corteza terrestre.

El petróleo es un combustible fósil muy utilizado para la obtención de energía fósil. La energía fósil es la que se obtiene por medio de un combustible fósil. El gasóleo y la gasolina son sus principales derivados y son los más utilizados en todo tipo de motores térmicos y en máquinas industriales. (15)



Figura 3 Yacimiento de petróleo. Fuente,(15)

Origen del petróleo

El petróleo se genera en las cuencas marinas poco profundas donde abundan grandes cantidades de plancton. El plancton cuando su vida se reduce, muere y se acumula junto con una gran cantidad de materia orgánica que queda entre el barro del fondo de la cuenca sedimentaria. Cuando estos organismos están demasiado tiempo sobre el fondo del mar, sufren un proceso de oxidación. También, si quedan fuera del contacto con el oxígeno disuelto en el agua salada al quedar enterrados por un sedimento inorgánico impermeable, sufrirá un proceso diagenético³ en condiciones de anaerobiosis⁴, donde habrá un aumento de presión y temperatura más la acción de bacterias anaerobias que van a transformar la materia orgánica en hidrocarburos.(15)

Al principio la compactación y la litificación⁵ del sedimento se va a llegar al mismo tiempo: las bacterias degradan los organismos vivos con los que se alimentan, y transforman los residuos en una sustancia insoluble orgánica con estructuras cíclicas que se llama querógeno será la materia prima del petróleo. El petróleo se produce por la transformación de los ácidos grasos del querógeno que se transforman en hidrocarburos pesados y que después de un proceso de maduración se rompen y originan hidrocarburos líquidos y gaseosos. Cuando los hidrocarburos entran en el interior del sedimento, en su transformación pueden pasar dos cosas:

- Que el hidrocarburo se quede en el interior de la roca donde se formó, que normalmente es impermeable y de textura fina. Estas rocas se denominan pizarras bituminosas, y su explotación comercial no es muy rentable. Sus procesos requieren gran cantidad de agua y generan mucha cantidad de residuos rocosos, con gran impacto ecológico.

³ Etapa final del ciclo sedimentario en la que una vez depositados los materiales sufren una alteración química y física que provoca, generalmente, su compactación.

⁴ Condición de vida de un organismo anaerobio, aquel que es capaz de vivir o desarrollarse en un medio sin oxígeno.

⁵ Proceso mediante el cual un material se convierte en roca compacta en la corteza terrestre.

- Que el hidrocarburo migre. Si la roca ha quedado enterrada a gran profundidad, es muy posible que el combustible fósil se escape hacia zonas superiores hasta llegar a otro material más poroso y permeable por la fuerte compactación.

El petróleo no se encuentra en un tipo de roca, es capaz de impregnar roca si ésta es porosa. Además del petróleo, en estas rocas también se encuentra metano y agua salada, provenientes de su proceso de formación. (15)

Derivados del petróleo

Los productos derivados del petróleo son materiales producidos a partir del elemento en crudo. Esto generalmente se hace en refinerías de petróleo. A diferencia de los destilados, son compuestos puros, los productos derivados son mezclas complejas. La mayor parte del hidrocarburo se convierte en productos derivados que incluyen varias clases de combustible. Dependiendo de la composición del petróleo y de la demanda del mercado, las refinerías producen una variedad de productos. La mayor parte de los productos derivados se utiliza como "portadores de energía", como los diferentes tipos de fuel oil y gasolina. Estos combustibles pueden mezclarse para producir queroseno, diésel y otros combustibles pesados.

Las partículas más pesadas se pueden usar para producir asfalto, alquitrán, parafina, lubricantes y otros aceites. Las refinerías también producen otros químicos y de ellos se producirán plásticos y otros materiales útiles. Como el petróleo también contiene algunas proporciones de moléculas que contienen azufre, éste se producirá como subproducto. El carbono, en forma de coque de petróleo, y el hidrógeno también se pueden producir como productos derivados. El hidrógeno producido a menudo se usa como intermediario para otros procesos en las refinerías, como el craqueo y la hidrodesulfuración⁶. (15)

Extracción del petróleo

Para extraer el petróleo se debe perforar un pozo sobre el yacimiento. Si la presión de los fluidos es suficiente, forzará la salida del petróleo de manera natural, y desde el pozo se conectará mediante una red de oleoductos hacia su tratamiento primario, donde se deshidrata y estabiliza eliminando los compuestos más volátiles. Desde allí se transporta a refinerías o plantas de mejoramiento. A medida que se explota el yacimiento, la presión descenderá y será necesario usar otras técnicas para la extracción del mismo. Para eso se utilizan las bombas, la inyección de agua o la inyección de gas. (15)

⁶ Proceso químico catalítico destinado a eliminar el azufre combustible del jet, queroseno, combustible diésel, y fuel oils.

Los componentes químicos del petróleo se separan y obtienen de él, el propano, el butano, la gasolina, el queroseno, el gasóleo, los aceites lubricantes, los asfaltos o el carbón de coque; todo por destilación mediante un proceso de refinamiento.

Debido a la importancia fundamental para la industria manufacturera y el transporte, el incremento del precio del petróleo puede ser responsable de grandes variaciones en las economías locales y provoca un fuerte impacto en la economía global. (15)

El refinado del petróleo

Una refinería es una planta industrial donde el petróleo crudo se convierte y se refina en productos más útiles como gasolina, diésel, asfalto, queroseno, propano-butano, fuel oil, lubricantes....

Las refinerías suelen ser grandes complejos industriales con numerosas tuberías que transportan flujos de fluidos entre grandes agregados para procesos químicos. Estas plantas se consideran plantas químicas porque utilizan numerosas tecnologías. Suelen tener instalaciones auxiliares y tanques de almacenamiento.

El origen del petróleo influirá directamente es su calidad. En función de su origen variaran sus características: color, viscosidad, contenido. Por eso, el petróleo recién extraído del pozo no se puede utilizar, primero se debe transportar a las refinerías para que se pueda transformar para que se pueda transformar y se puedan obtener el mayor número de productos de alto valor comercial.(15)

Principales productos del petróleo

Los productos derivados del petróleo son:

- Combustibles de gas como propano, líquido almacenado y transportado y presurizado en trenes especializados a distribuidores.
- Combustibles líquidos mezclados (gasolina, queroseno, diésel, pinturas, productos de limpieza). Son transportados por barcas, trenes o camiones cisterna. Se pueden transportar regionalmente a través de tuberías especiales, especialmente combustible para aviones a los principales aeropuertos.
- Los lubricantes (aceites de máquina livianos, aceites de motor, grasa, adición de estabilizadores viscosos) generalmente se envían juntos a las empresas de embalaje.
- Parafina utilizada en el envasado de alimentos congelados. Se pueden enviar juntos a empresas de embalaje.

- Cera cruda que consiste en una mezcla de aceite y cera utilizada como precursor de parafina, velas, revestimientos de óxido y barreras de vapor.
- El azufre, un subproducto de la eliminación del azufre del petróleo, contiene un porcentaje de compuestos órgano-azufrados.
- Alquitrán, para el transporte a empresas de albañilería y para uso en techos.
- El asfalto se utiliza como aglutinante para la grava en la formación de asfalto, que se utiliza en superficies de carreteras y otros.
- Coque de petróleo utilizado en algunos productos de carbono, como electrodos o combustibles sólidos.
- Destilados y materias primas para la producción de polímeros y productos farmacéuticos. Como son el etileno y benceno - tolueno - xileno.(15)

Efectos medioambientales y sobre la salud humana provocados por el petróleo

Los más grandes y más graves desastres ambientales que vulneran contra la biodiversidad se encuentran los derrames de petróleo en mares, océanos y ríos. El petróleo estropea los ecosistemas marinos provocando la muerte de los organismos por asfixia, aniquilando los organismos jóvenes o recién nacidos, aumentan de infecciones en las especies de aves, por la absorción de ciertas cantidades sub-letales de petróleo. Otros efectos negativos son sobre la reproducción y propagación de la fauna y flora marina. También provoca la destrucción de las fuentes alimenticias de las especies superiores.(15)

Poco a poco y sea cual sea la manera de ir contaminando, el principal perjudicado siempre es y será el ecosistema, y puede llegar al hombre a través de la cadena alimenticia. El petróleo o sus derivados pueden entrar en contacto con el cuerpo humano a través de 3 vías: por el sistema dermatológico, la piel es la que absorbe la contaminación ambiental, el sistema digestivo por la ingestión de alimentos y bebidas o por el sistema respiratorio por la respiración.

Los efectos perjudiciales en el ser humano, si la exposición es de manera aguda y una exposición corta suelen ser transitorios, pero de no ser así o las concentraciones de los compuestos son muy altas pueden provocar irritación en la piel, irritación en los ojos, náusea, vértigo, dolores de cabeza o mareos en una exposición prolongada. La inhalación de aceites minerales puede llegar a causar una neumonía lipoidea⁷ y la muerte. Las concentraciones altas de benceno causan síntomas neurotóxicos⁸ y una prolongada exposición a niveles tóxicos puede causar lesión de la

⁷ La neumonía lipoidea exógena es una patología que se desarrolla cuando el material lipídico accede al alveolo, debido a la aspiración de sustancias grasas de origen vegetal, mineral o animal

⁸ Se presentan en forma de debilidad o entumecimiento de las extremidades, pérdida de memoria, pérdida de visión, deterioro de las capacidades cognitivas, aparición de conductas compulsivo / obsesivas de difícil control, delirio, cefaleas, disfunción sexual...

médula ósea con pancitopenia⁹ persistente. El benceno es una causa de poder desencadenar una leucemia y probablemente de otros tumores hematológicos. (15)

Otro efecto y no menos importante sobre la atmosfera, son los gases invernadero. La quema de los combustibles fósiles genera una gran cantidad de gases de efecto invernadero que contribuyen a empeorar el cambio climático del planeta. Además, pueden generar problemas respiratorios en los humanos y los animales. (15)

Las reservas de petróleo

Según diversos estudios, actualmente quedan en el planeta entre 600.000 millones y 800.000 millones de barriles de crudo por extraer. Eso quiere decir que, de continuar el ritmo actual de consumo, estas reservas se agotarían hacia el año 2043.

Esta fecha puede ser más cercana a nuestros días porque cada vez es más caro y complejo el proceso de extracción. La alternativa es que se disparen los precios para asegurar esa rentabilidad. Esta fecha límite dependerá también del hallazgo de nuevos yacimientos y del aumento del consumo mundial con la industrialización. (1,15)

2.4.2. Carbón

El carbón combustible fósil, es una roca sedimentaria. Su origen es orgánico, de color negro o marrón oscuro. Sus propiedades termodinámicas permiten obtener una gran cantidad de energía calorífica durante su combustión. La energía obtenida a través de su combustión se llama energía fósil. Tiene un elevado poder calorífico que se debe a su alto contenido de carbono.

La explotación intensa del carbón dio lugar a la Revolución Industrial como combustible para las máquinas de vapor. Pero la combustión generalizada de combustibles fósiles genera billones de toneladas de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono fomentando el problema del calentamiento global.

El carbón es un tipo de energía no renovable, es un recurso natural limitado. La generación de este mineral es un procedimiento que conlleva varios millones de años, pero su consumo es muy rápido.

La procedencia del carbón puede ser mineral o vegetal: El carbón mineral está formado por un proceso físico-químico de millones de años y se obtiene a partir de la industria minera bajo el

⁹ Afección por la cual el número de glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas en la sangre es más bajo de lo normal

subsuelo. El carbón vegetal se produce al calentar ciertos materiales, la gran mayoría maderas, hasta temperaturas de entre 400 y 700 °C con una cantidad de oxígeno muy reducida.

El carbón fósil se formó a partir de partes de plantas antiguas especialmente durante el período carbonífero. Después de muchos años estos compuestos quedan sepultados en las capas interiores de la tierra. Con la falta de oxígeno, y con las diferentes condiciones de presión y temperatura desencadenan una transformación tanto física como química hasta llegar al carbón que conocemos. (16,17)



Figura 4 Carbón. Fuente, (16)

Tipos de carbón

La clasificación del carbón es en base a las características de su inflamabilidad, del poder calorífico, del porcentaje de materiales no combustibles y de su humedad. La clasificación más utilizada para el comercio internacional es:

- Antracita.
- Bituminoso es un carbón relativamente duro que contiene betún.
- Sub-Bituminoso.
- Lignito se forma por compresión de la turba. Se pueden ver restos de materia vegetal.

La clasificación europea hace referencia al porcentaje de carbono que contiene:

- Turba (50 a 55 %)
- Lignito (55 a 75 %)
- Hulla (75 a 90 %)
- Antracita (90 a 95 %): el que tiene mayor proporción de carbono y mayor poder calorífico.
- Grafito: carbono puro. No se utiliza como combustible. (1,16,17)

Usos del carbón

El carbón se utiliza como fuente primaria de calor en calderas industriales y también se utiliza para obtener la electricidad en las centrales térmicas.

El 75% del carbón mundial se utiliza para producir electricidad en las centrales térmicas. La eficiencia energética global de las centrales de carbón no es muy elevada, alrededor de un 25% - 27%.

El funcionamiento de las centrales térmicas es partir de una fuente de calor que genera vapor de agua. Con la presión del vapor se acciona una turbina conectada a un generador eléctrico. Esta fuente de calor es el carbón, y posteriormente, se ha ido sustituyendo la energía nuclear para la generación de electricidad.

El carbón tiene otros usos menos frecuentes, los hornos de cemento y la elaboración de carbón de coque a partir de la hulla para producir acero. (16,17)

Extracción del carbón

La explotación del carbón depende de las características geométricas de estos estratos, de su potencia, del buzamiento,¹⁰ de la profundidad en que se encuentran, de la topografía del terreno y, de la accesibilidad. Todo esto definirá el método que deberá utilizar para su extracción.

El carbón se puede extraer de canteras a cielo abierto o en minas subterráneas. En la actualidad quedan pocos yacimientos al aire libre, se han agotado. Eran más seguras y más económicas, pero más contaminantes. La mayor parte de las minas, eran subterráneas. Se excavaban largos túneles por los que los mineros extraían las rocas, que se traían a la superficie mediante cintas transportadoras o carritos. Según los mineros iban picando la roca y retirándola con palas, se drenaba el agua de los túneles mediante caballos, cadenas y cubos. Después, se limpiaba con agua mezclada con partículas de magnetita. La mezcla provocaba que los elementos se separasen de forma natural. (16,17)

Problemas del carbón

Los problemas medioambientales por el mal uso del carbón no son de actualidad. I los problemas no resultan solamente para el medio ambiente sino también para el ser humano.

Las explotaciones mineras a cielo abierto tienen un gran impacto visual y los líquidos que de ellas se desprenden suelen ser muy contaminantes. Hoy en día en los países desarrollados, las compañías mineras están obligadas a dejar el paisaje prácticamente igual cuando han terminado su trabajo. Deben ir rellenando y reforestando a medida que la zona queda vacía por haber extraído el mineral. No deben quedar agujeros, ni tierras removidas. Es muy importante controlar y depurar el agua de lixiviación¹¹, el agua que después de estar en contacto con el mineral, sale de

¹⁰ Es el ángulo que forma la línea de máxima pendiente de una superficie de un estrato con su proyección sobre el plano horizontal.

¹¹ Es una operación unitaria que consiste en la separación de una o varias sustancias contenidas en una matriz sólida mediante el uso de disolventes líquidos.

la zona de la mina y alcanza los ríos. Esta agua es muy contaminante, está cargada de materiales muy tóxicos, como metales pesados y productos químicos usados en la minería. También hay un daño ambiental, al quemar el carbón porque se liberan grandes cantidades de gases responsables de efectos nocivos como la lluvia ácida, el efecto invernadero. Si el combustible utilizado es de mala calidad el daño es mucho mayor, las impurezas se convierten en óxidos de azufre y otros gases tóxicos. (1,16,17)

2.4.3. Gas

Un gas combustible es un gas que se utiliza como combustible para producir energía térmica mediante un proceso de combustión. El gas natural que contiene en su mayor proporción el metano es el más habitual, pero existen otros como:

- El gas licuado del petróleo (GLP), el propano o el butano. Se obtienen mayoritariamente en la destilación fraccionada del petróleo. Otra parte es obtenida al separarlos del gas natural.
- Hidrógeno. Se obtiene a partir de la electrólisis del agua invirtiendo energía eléctrica, o a partir de gas natural. Es un vector energético y no una fuente de energía primaria. Puede llegar a ser utilizado en el futuro como gas combustible con una mejora de la tecnología.
- Gas de alumbrado (H₂ y CO₂), también conocido como gas de hulla o gas ciudad. (18)

Gas Natural

El gas natural es un combustible fósil; una fuente de energía fósil, una energía primaria. Se obtiene directamente, no necesita ninguna transformación.

El gas natural se comenzó a utilizar a partir de los años 60 como combustible preferente. Aunque en el sector del transporte el más utilizado continúa siendo el petróleo. También se utiliza como materia prima en muchos productos químicos.

La construcción de gasoductos y el comercio de gas ha dado lugar a conflictos entre diferentes países del mundo en los siglos XX y XXI. (1,18)



Figura 5 Extracción de gas en el mar. Fuente,(18)

La eficiencia del gas natural

En una central térmica, el gas natural es el combustible más eficiente con un 50,7%, mientras que el petróleo es del 25,7%, el unario del 26,1% o el carbón del 26,8%. Existe la posibilidad de utilizar el gas natural de manera directa, sin necesidad de convertirla en electricidad. Para obtener agua caliente la eficiencia es mucho mayor llega hasta el 91,2%. (12)

El gas natural es más económico y más fácil de almacenar que el carbón y los derivados del petróleo.(18)

La composición del gas natural

El gas natural es una mezcla de gases más ligera que el agua. No es tóxico. Es incoloro. En principio es inodoro. Está constituido por una mezcla de hidrocarburos.

La composición del gas natural es:

- Metano (CH₄). El metano es el componente principal del gas. En menor proporción contiene otros hidrocarburos como:
- Propano (C₃H₈)
- Butano (C₄H₁₀)
- Pentano (C₅H₁₂).

La composición química del gas natural, a igual que el petróleo y del carbón varía según su procedencia geográfica y geológica. La composición irá asociada a otras moléculas como el anhídrido carbónico (CO₂), el nitrógeno (N₂) o raramente el helio (He) que hay que extraer cuando el gas es destinado a usos industriales y domésticos.

En algunos yacimientos, como en el de Lacq (Francia), puede haber trazas de compuestos orgánicos de sulfuro de hidrógeno (SH₂) y compuestos orgánicos sulfurados (gases dedos amargas). (1,18)

Producción del gas natural

El gas natural, como los demás combustibles fósiles, se ha ido formando durante millones de años por la descomposición anaeróbica¹², de grandes cantidades de restos de organismos muertos depositados en el fondo del mar. Con el paso del tiempo, la materia orgánica mezclada con barro quedó enterrada bajo capas de sedimentos pesados. La materia se vio sometida a altas presiones y temperaturas, sin aire, durante largo tiempo. La descomposición de esta materia orgánica desprendió gases, mayoritariamente gas natural. (18)

Obtención del gas natural

La energía interna del gas natural está contenida en los enlaces químicos carbono-hidrógeno (C-H). Esta energía se puede extraer por combustión, que es una reacción termodinámica de oxidación exotérmica. Esta reacción convierte la energía química de los enlaces en energía calorífica. El fenómeno de la combustión generalmente genera una llama que genera luz. (18)

Extracción y transporte del gas natural

La extracción del gas se parece a la extracción del petróleo. Cuanto más precisas sean las técnicas en la exploración del terreno mayor serán las posibilidades de encontrar las bolsas de gas.

Para extraer el gas natural se debe perforar el suelo hasta encontrar la bolsa de gas. El gas se puede encontrar tanto en la tierra como en el mar. Una vez que se ha encontrado el gas debe ser extraído. Normalmente el gas está a presión. El gas sale a la superficie gracias a la propia presión de la bolsa de gas. Cuando la presión no es lo suficientemente elevada, se utilizan bombas de extracción. Una vez extraído, el gas es tratado para eliminar las impurezas y quitarle la humedad.

El gas natural se tiene que transportar desde entre los yacimientos a las áreas de consumo por medio de gaseoductos, que son tuberías de acero de gran diámetro, normalmente enterradas.

Si es necesario el transporte por mar, el gas natural se licúa a 160°C bajo cero, para que su volumen queda reducido 600 veces y se pueda transportar en buques metaneros entre los productores y consumidores. En el puerto receptor es descargado en las plantas de almacenamiento y se regasifica, después será impulsado a alta presión y transformado de nuevo para su transporte a los centros de consumo. (18)

¹² Sin oxígeno

Reservas de gas natural

Las reservas de gas natural son abundantes pero limitadas, y están ampliamente distribuidas por el planeta. Las mayores reservas mundiales de gas se encuentran en la antigua Unión Soviética, junto con el Medio Oriente. (18)

Impacto con el medio ambiente

Se trata de la energía fósil más limpia en cuanto a residuos y emisiones atmosféricas. El metano liberado en la atmósfera de forma directa, antes de que se quemara, es perjudicial para el medio ambiente. Como puede atrapar el calor en la atmósfera, el metano contribuye al cambio climático. El metano es más eficaz a la hora de atrapar el calor que esos otros gases de efecto invernadero. (1,18)

La combustión de gas también genera gases de efecto invernadero como óxidos de nitrógeno (O_xN_y) o dióxido de azufre (SO_2), también son los responsables del calentamiento global.

La lluvia ácida es la que se forma cuando la humedad del aire se combina con óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre o trióxido de azufre (SO_3). En interacción con el agua de la lluvia, estos gases forman ácido nítrico (HNO_3), ácido sulfuroso (H_2SO_3) y ácido sulfúrico (H_2SO_4).

La extracción y el transporte del gas natural produce deterioros al medio ambiente indirectamente. La deforestación, los desplazamientos de comunidades, las destrucciones de los ecosistemas por la construcción de gasoductos para transportar el gas.

Si los yacimientos se encuentran en el fondo del mar o en zonas frágiles como bosques o como el ártico, la exploración y extracción de gas puede ser muy contaminantes. (1,18)

2.4.4. Energía solar

La energía solar es el aprovechamiento de la energía que proviene del Sol. Para ello se instalan paneles solares y otros sistemas se puedan acumular y reutilizar esta energía térmica para después generar electricidad. Es una energía renovable e inagotable y por si fuera poco es una energía que no contamina. Por eso, es una buena elección prioritaria a las energías no renovables.

El Sol es una fuente importante de energía, con un flujo radiante de $3,8 \times 10^{26}$ W, equivalente a una densidad de 62,5 MW por cada metro cuadrado de superficie solar. Contiene aproximadamente el 99,8% de la masa total del sistema solar. El diámetro solar es de $1,4 \times 10^6$ km, es decir, 109 veces mayor que el de la Tierra. En términos de volumen, el Sol es $1,3 \times 10^6$ veces más voluminoso que la Tierra, es decir, su volumen es de $1,44 \times 10^{18}$ km³. El Sol se clasifica como una estrella de tipo G2 en base a su temperatura y de las longitudes de onda o espectro de luz que emite. La superficie del Sol está compuesta de hidrógeno (alrededor del 74% de su masa, o el 92% de su volumen), helio (alrededor del 24% en masa, 7% en volumen) y otros elementos en menor porcentaje. La distancia que hay del Sol a la Tierra varía debido a la excentricidad de la

órbita terrestre. Una unidad astronómica, $ua=1.496 \times 10^8$ km, se define como la distancia media entre la Tierra y el Sol. La sucesión de las estaciones del año y las variaciones de temperatura se debe a la variación en la distancia de la Tierra al Sol. La energía del Sol, en forma de luz y calor, sostiene casi toda la vida en la Tierra a través de la fotosíntesis, y es la responsable de las condiciones climáticas y meteorológicas de la Tierra. El Sol es una esfera enorme con temperaturas que llegan a 6000°C en la superficie y a 15000000°C en su centro. Las temperaturas son causadas por la fusión nuclear debido a la conversión de núcleos de hidrógeno en núcleos de helio.(1,19)

El sol manda más de 4000 veces más de energía que el ser humano necesita. Este exceso de energía se tendría que aprovechar, porque su inconveniente es, que no es continua, es variable en función de la época del año, del tiempo y del lugar del planeta donde vivimos. Por ello es necesario pensar en medidas que se puedan utilizar dos energías renovables para que cuando una no sea capaz de producir energía lo pueda hacer la otra, así se garantizaría que el hombre tuviera la energía necesaria de manera continua sin necesidad de contaminar ni de perjudicar su salud.

La radiación solar viaja hacia la Tierra mediante la radiación electromagnética y después es aprovechada en forma de energía eléctrica o energía térmica.(19)

Los paneles solares serán los encargados de captar la radiación solar y de transformar dicha radiación en energía útil. Estos paneles son de diferentes tipos según el mecanismo que tienen para aprovechar la energía solar.

Según la manera de aprovechar la energía solar encontramos la energía solar térmica, utiliza los paneles captadores solares térmicos; y la energía solar fotovoltaica utiliza los paneles solares fotovoltaicos.(19)



Figura 6 Energía solar. Fuente, (19)

Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se utiliza para producir electricidad a partir de los rayos del sol. La energía va a ser captada por paneles fotovoltaicos que están formados por un cristal o una lámina

transparente en la parte superior y un encerramiento en la inferior, así queda encapsulado el sustrato converso y las conexiones eléctricas.(19,20)

Los paneles fotovoltaicos de las instalaciones fotovoltaicas, se componen de células fotovoltaicas que van a generar una corriente eléctrica. Esta corriente es continua, y gracias a los convertidores de corriente se puede transformar en corriente alterna. Los materiales de los módulos solares son semiconductores y normalmente son de silicio.

La gran ventaja de los paneles fotovoltaicos es que no emiten gases de efecto invernadero. Tampoco requieren de combustible, solo necesitan el sol. Su producción es a escala proporcional al número de paneles fotovoltaicos instalados pudiendo ampliar este número de paneles si la demanda de energía aumenta. (19,20)

La corriente eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos se utiliza para suministrar electricidad o bien directamente a la red eléctrica o en instalaciones autónomas.

En la actualidad esta energía es la tercera fuente de energía que es 100 por 100 renovable más utilizada, en primera posición encontramos la energía hidráulica y en segunda posición la energía eólica.

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser con conexión directa a la red pública o bien aislados de dicha red. Estos últimos se utilizan para el autoconsumo, en hogares, iluminación de carreteras o lugares con difícil acceso. Cuando tienen un excedente de producción es inyectado a la red pública. De los primeros, de los conectados a la red hay grandes plantas o también llamados parques solares.(19,20)

Una planta fotovoltaica es una central eléctrica para convertir la energía del sol en electricidad. El efecto fotovoltaico se produce cuando los fotones de la luz, al impactar sobre un determinado material, consiguen desplazar un electrón, lo que genera una corriente continua. Esta central eléctrica está formada por muchos módulos fotovoltaicos que transformara la radiación solar y un inversor que va a convertir la corriente continua en corriente alterna. En estas centrales toda la electricidad generada se va a inyectar a la red eléctrica.

La planta fotovoltaica más grande del mundo es la de Bhadla Solar Park, en India, con una capacidad instalada de 2.245 MW. El coste total de la instalación fue de 1200 millones de euros.(20)



Figura 7 Placas fotovoltaicas. Fuente, (20)

Energía solar térmica

La energía solar térmica es otra manera de aprovechar la energía que nos llega del sol, con esta energía se calienta el agua por medio de colectores solares, secar productos y producir energía a través de procesos termodinámicos. Es un tipo de energía económica. Estos colectores aumentaran la temperatura del agua i así aumentaran su energía interna. Esta forma de generar energía suele ser útil en viviendas y pequeñas instalaciones para tener agua caliente o calefacciones, pero también será útil en grandes centrales eléctricas. En estas centrales eléctricas estas altas temperaturas del agua van a generar vapor, y éste podrá movilizar turbinas de vapor que a su vez generaran electricidad como en una central térmica clásica.(19)

Existen tres tipos de energía solar térmica: Plantas de alta temperatura, se utilizan para generar electricidad. Trabajan con temperaturas por encima de los 500 °C (773 kelvin). Las plantas de media temperatura que trabajan con temperaturas entre los 100 y 300 °C, y las instalaciones de baja temperatura utilizadas en viviendas, que trabajan con temperaturas menores a 65°C. La captación de los rayos solares se hace con espejos orientados automáticamente, apuntando a una torre central y donde se calentará el fluido. Esta superficie reflectante y su dispositivo de orientación se llama heliostato. (19)

Los beneficios de producir electricidad solar van desde la protección del medio ambiente, la creación de empleo, la diversificación de suministro de combustibles, el crecimiento económico, y la innovación. La gran ventaja es que su combustible, es abundante, gratuito y es inagotable.

Un colector solar es un tipo de panel solar para captar la energía solar térmica. Hay 3 tipos de colectores según su uso.

- El colector solar plano es el más extendido. Se pueden obtener aumentos de temperatura de 60 grados centígrados a un coste reducido.
- Los colectores solares térmicos no vidriados se utilizan habitualmente para la producción de agua caliente en piscinas. El aumento de temperatura se sitúa en 30°C.
- Los colectores solares de vacío. Consisten en tubos de metal que recubren el tubo metálico que contiene el fluido caloportador dejando entre ambos una cámara que actúa como aislante. Tienen un rendimiento y coste más elevados.

- Los colectores solares con sistemas de concentración de la radiación obtienen temperaturas más elevadas.
- Los captadores con sistemas de seguimiento del Sol varían su posición e inclinación para mantener una posición perpendicular a la radiación solar. (1,19)

A igual que en recolectores de baja y media temperatura, hay dos tipos de centrales térmicas solares.

- Centrales de colectores distribuidos, formadas por colectores de concentración cilíndricos o parabólicos. Estos colectores captaran la radiación solar en la superficie captadora muy pequeña y son capaces de proporcionar temperaturas de 300°C. Su inconveniente es que los colectores de concentración sólo pueden aprovechar los rayos directos del sol, y no puede recoger la radiación difusa del mismo.
- Centrales de torre, está formada por un sistema concentrador que será el que captará la radiación solar y la convertirá en energía térmica, situada en la parte superior de la torre. Dependiendo del fluido de trabajo si en este caso es agua moverá directamente una turbina, los otros fluidos que pueden trabajar como el aire, sodio fundido o sales fundidas, dicho fluido transportará el calor a un generador de vapor de agua para hacer funcionar la turbina que moverá el generador. (1,19,20)



Figura 8 Energía Solar térmica. Fuente,(19)

2.4.5. Energía eólica

La energía eólica es la energía que podemos obtener gracias al viento. Es una manera de producir electricidad de una forma sostenible aprovechando la fuerza del viento. Eólico del latín relativo a Eolo, en la mitología griega, dios de los vientos. Des de siglos atrás el viento ha sido utilizado para mover las velas de los barcos, también para mover las aspas de los molinos para hacerlos funcionar. (21)

El viento es un recurso abundante, renovable por eso la energía eólica es una energía limpia y ayuda a la disminución de los gases de efecto invernadero. Su principal inconveniente es que no

todos los días hace viento. Por eso, las instalaciones eólicas suelen complementarse con placas fotovoltaicas para compensar esta desventaja. (21)

Los sistemas eólicos aprovechan la energía cinética del viento generado por efecto de las corrientes de aire para transformarla en electricidad para las actividades humanas. Para aprovechar la energía eólica al máximo necesitamos conocer las variaciones diurnas y nocturnas y estacionales de los vientos, la variación de la velocidad del viento con respecto de la altura sobre el suelo, la entidad de las ráfagas en breves espacios de tiempo, y valores máximos ocurridos en series históricas de datos con una duración mínima de 20 años; la velocidad máxima del viento. Es necesario que la velocidad del viento quede comprendida entre los 12 i los 65Km/h. Los molinos de viento son un tipo de generador, para transformar la energía eólica en energía mecánica de rotación. Esta energía mecánica es la que hará girar el rotor de un generador y producirá la energía eléctrica. (1,21)

Dentro de la energía eólica también existen los parques eólicos que consisten en varios aerogeneradores implantados en el territorio conectados a una única línea eléctrica. La energía eólica tiene una baja densidad energética por eso es necesario la instalación de los aerogeneradores para aprovechar los recursos. A parte del inconveniente de que el viento es intermitente, se debe mencionar el impacto paisajístico, con el efecto *discoteca* cuando aparece el sol por detrás de los molinos, las sombras de las aspas se proyectan al territorio con un parpadeo. También se debe mencionar el ruido, y la contaminación acústica que producen por ello. Otro tema con controversia son las aves y murciélagos y su mortandad que, aunque algunos autores dicen que las cifras son bajas otros en cambio aumentan sus cifras. Los aerogeneradores actuales son de baja velocidad de rotación, esto hace que el choque de aves sobre las aspas haya descendido. (21)



Figura 9 Aerogeneradores. Fuente, (21)

2.4.6. Energía hidráulica

La energía hidráulica es la energía que se obtiene del aprovechamiento de la energía cinética y de la potencial de la corriente del agua. Esta energía se puede aprovechar directamente para hacer girar el eje de una turbina hidráulica para obtener un trabajo mecánico. Se trata de una fuente de energía renovable. Es una energía limpia alternativa para los combustibles fósiles ya que no genera residuos ni gases de efecto invernadero. La evidencia más temprana de las ruedas de agua y molinos de agua se remontan al siglo IV aC, en el Imperio persa antes del 350 aC, en las regiones de Irak, Irán, y Egipto. (1,22)

Si este trabajo mecánico se utiliza para producir electricidad se llama energía hidroeléctrica. Su ventaja es que las presas permiten regular el caudal del río aguas abajo. Por otro lado, entre las numerosas desventajas de la energía hidráulica destacan el impacto negativo en el ecosistema de la zona. La energía hidroeléctrica proviene de ríos y lagos gracias a la creación de presas y conductos forzados. Existen varios tipos de centrales hidroeléctricas: En zonas de alta montaña se utilizan centros de salto que son grandes alturas de caída. En las plantas de agua fluida, se utilizan grandes masas de agua fluvial regulando el caudal que superan pequeñas diferencias de altura. El agua de una cuenca artificial se transporta aguas abajo a través de tuberías forzadas. De esta forma se transforma su energía potencial y energía cinética que se puede aprovechar de múltiples formas. La energía que se obtiene puede servir para realizar un trabajo mecánico o su uso más común el de producir electricidad, para esta última se utiliza para accionar una turbina hidráulica conectada a un generador eléctrico. (22)

Cuando la producción de energía hidroeléctrica se lleva a cabo a través de la explotación de las olas, las mareas y las corrientes marinas, es lo que se conoce como energía mareomotriz. Una planta hidroeléctrica es un conjunto de obras de ingeniería hidráulica y una serie de máquinas con el objetivo de obtener electricidad a partir de la fuerza del agua. El agua se transporta a una o varias turbinas hidráulicas que hacen girar gracias a la presión del agua. Cada turbina está acoplada a un alternador que transforma el movimiento de rotación en energía eléctrica. (22)

Entre las ventajas de la energía hidráulica encontramos que es inagotable por eso es renovable, es una energía limpia, para su producción no hay emisiones tóxicas, Permite regular la producción según la demanda con la construcción de embalses y de presas, su coste no depende de la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles, tampoco es necesario la extracción del combustible ni su transporte hacia la planta eléctrica. (22)

En cuanto a sus inconvenientes, implica la construcción de presas y embalses, estos embalses, según donde se construyan, pueden inundar extensiones de terreno, dicha inundación implica la pérdida de tierras fértiles, daños medioambientales y al ecosistema. Afecta al caudal río abajo, la regulación del caudal de agua río abajo implica el cambio en los ecosistemas. El agua que sale de las turbinas no tiene prácticamente sedimento afectando a la erosión de los márgenes de los ríos o el retroceso de los deltas en la desembocadura de los ríos. (22)



Figura 10 Presa de una central hidroeléctrica. Fuente, (22)

2.4.7. Energía de las mareas

Los océanos y los mares tienen un gran potencial energético, con ellos se puede llegar a transformar energía y poder satisfacer las necesidades energéticas. La energía mareomotriz es la manera de producir electricidad a través de los movimientos del agua causados por las mareas y los océanos. Por ello se considera una energía renovable y limpia pues no emite gases de efecto invernadero para generar energía eléctrica. Las centrales mareomotrices tampoco generan contaminación acústica. También es una energía eficiente, por la densidad del agua, se puede obtener energía haciendo funcionar a las turbinas a baja velocidad. Las instalaciones son fáciles de mantener y la creación de energía es asequible. Como inconvenientes, su alto coste de instalación en relación con la cantidad de energía que se puede obtener. La dificultad de la colocación, los mejores sitios tienen que tener amplitudes de marea superiores a 3 metros y una topografía favorable a la instalación; La discontinuidad de la producción, la erosión costera creada por centrales eléctricas que modifican los flujos de marea, la sedimentación dentro de la cuenca si se construyen en la desembocadura de los ríos, el ecosistema, la fauna en concreto se ve afectada. (1,23)

Existen otras formas de aprovechar la energía marina y según este aprovechamiento encontramos energía de las mareas o mareomotriz, energías de las corrientes o energía maremotérmica, energía de las olas o energía undimotriz y energías del gradiente salino. (12)

La energía undimotriz utiliza el movimiento de las olas para producir energía eléctrica. La energía transportada por las olas en la superficie del agua se puede utilizar para generar electricidad, desalar el agua y bombear agua a los tanques. La energía de las olas es una fuente de energía renovable y se considera limpia, aunque conlleva un impacto ambiental ya que modifica el paisaje costero y altera el ecosistema del fondo marino.(24)

La producción de energía eléctrica promedio de los mares y océanos, supera los 15 kW / m, con una altura de ola de 2 m, la potencia alcanza los 80 kW / m. Por supuesto, solo una parte de la potencia de excitación se puede transformar en energía mecánica y eléctrica, pero para el agua el

coeficiente de conversión es un 85% más alto que para el aire. La generación de electricidad a partir de energía undimotriz no es muy común, solo está en proceso de investigación. (1)

La diferencia de salinidad entre el agua del mar y de los ríos es otra posible fuente de energía. Está en estudio dos tecnologías para aprovechar el gradiente salino.

El retardo de la presión Osmótica (PRO - Pressure-Retarded Osmosis). Consiste en bombear agua marina a un depósito, donde la presión es inferior a la presión osmótica entre el agua dulce y la salada. El agua dulce fluye a través de una membrana semipermeable incrementando el volumen de agua en el depósito que puede generar electricidad mediante una turbina hidráulica. (23)

La electrodiálisis inversa (RED - Reverse electrodialysis). Es el fenómeno inverso a la desalación de agua por medio de membranas selectivas a los iones y se genera electricidad en forma de corriente continua. Su coste es muy elevado, y las desembocaduras de ríos presentan restricciones con otros usos. (23)



Figura 11 Energía undimotriz. Fuente, (23)

2.4.8. Energía geotérmica

Geotérmica, proviene del griego; geo tierra y thermos calor, es el calor de la tierra. En el interior de la tierra se origina calor, este se produce por la suma de procesos físicos y químicos que tienen lugar en su interior. La energía geotérmica es una energía renovable, se obtiene sin ninguna combustión de ningún material, es una energía limpia sin emisiones de CO₂ y se obtiene por el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. Este calor se produce por el gradiente geotérmico, el calor radiogénico. (25)

La temperatura en las capas internas de la Tierra es constante incluso en las diferentes estaciones del año. Las capas internas de la corteza terrestre están más calientes que la superficie en invierno y más frías en verano. Este tipo de energía está relacionado con algunos fenómenos geológicos como volcanes o aguas termales y ayudan a su extracción. Para explotar el calor que tiene la tierra se pasa un fluido por la zona caliente, de esa manera se transportará la energía térmica a la superficie, y después ya se podrá utilizar el calor en forma de energía eléctrica.

Una central geotérmica produce electricidad, el agua caliente que se obtiene se utiliza para generar vapor y accionar la turbina de vapor, obteniendo energía mecánica que moverá maquinas o para ser transformada en electricidad. (25)

Hay distintos tipos de yacimientos de energía geotérmica y se clasifican según la temperatura de su fuente termodinámica. La energía geotérmica de alta temperatura, se encuentra en zonas activas de la corteza. La temperatura que alcanza está entre los 150 y 400 °C, se produce vapor en la superficie y por medio de una turbina se genera electricidad. Se precisan perforar pozos a igual como una perforación de petróleo. La energía geotérmica de media temperatura en ellas las temperaturas oscilan entre los 70-150 °C. El rendimiento energético de conversión vapor-electricidad es mucho menor, para ello se debe añadir un componente volátil. La energía geotérmica de baja temperatura, se suelen encontrar en las cuencas sedimentarias, el fluido se encuentra entre los 50-70°C. La energía geotérmica de muy baja temperatura, se puede generar electricidad para las necesidades domésticas, urbanas y agrícolas, aquí los componentes están entre 20-50°. (25)

Las ventajas de la geotermia son superiores a los inconvenientes. Su eficiencia es elevada. Su producción constante, es una fuente que se encuentra en todas partes de la Tierra, esta energía no depende de la meteorología, los residuos producidos son mínimos. Provocan menos impacto ambiental, su mantenimiento es fácil, tienen un buen rendimiento y su consumo es bajo. El impacto visual es mínimo. (25)

Por contra su coste inicial elevado y su proceso inicial es largo y costoso. En algunas zonas no es viable es necesaria explorar bien el territorio porque en terrenos rocosos es un difícil la construcción de pozos. Para ello será necesario la realización de estudios previos, que harán necesaria una maquinaria específica e invertir en esa primera fase inicial. En la perforación y de manera accidental se puede producir la fuga de ácido sulfhídrico, arsénico, amoniaco... que pueden ser tóxicos y pueden contaminar las aguas cercanas. Con dicha perforación hay un deterioro del paisaje. La electricidad no se puede transportar se debe consumir en el mismo lugar a excepción de las centrales geotérmicas.

Las centrales geotérmicas son plantas para convertir la energía geotérmica en electricidad. Una central geotérmica es una instalación para obtener electricidad por medio del calor de la Tierra. La eficiencia energética de estas plantas es baja, alrededor de un 10-23%, por que los fluidos geotérmicos están a temperaturas bajas en comparación con las calderas de vapor. (1,25)



Figura 12 Magma. Energía geotérmica. Fuente,(25)

2.4.9. Energía de la biomasa

La energía de la biomasa o la bioenergía es la energía biológica. La bioenergía permite a los seres vivos moverse, tener actividad cerebral, la producción de alimentos y la síntesis de los tejidos biológicos.

La biomasa la materia orgánica que la producen los organismos. Los combustibles fósiles de origen orgánico que han sido transformados por procesos geológicos no se considera biomasa.

La biomasa será el material biológico obtenido por procesos biológicos como la fotosíntesis. Esta producción biológica varía según el ecosistema, la comunidad y el bioma que forma parte. En la tierra suelen ser las plantas, mientras que en los océanos son las algas.(26)

La energía de los biomas se considera una energía renovable, limpia porque recicla la materia orgánica, los residuos del campo y los aceites vegetales. Tampoco necesita de combustibles fósiles para su producción, si es necesario la combustión para su aprovechamiento generaran gases de efecto invernadero intensificando el problema del cambio climático. (26)

La biomasa se utiliza como cultivo alimenticio, como materia prima para fabricar muebles, en productos petroquímicos, para sustituir al petróleo, como combustible para la producción de energía.

Casi toda la biomasa se puede convertir en energía mediante combustión. Se genera calor, electricidad o incluso el impulso de medios de transporte. Los pellets de madera, de maíz, de aceite de palma... son biomasa.

Algunas centrales eléctricas de carbón añaden productos de biomasa a su combustible. La combustión de la biomasa y del carbón en menor cantidad, la producción de electricidad se considera en parte neutra en dióxido de carbono (CO₂). En las plantas de incineración de residuos, el papel y el cartón se incineran para producir energía.

En la utilización de la biomasa se obtienen ventajas, como menor emisiones de CO₂, su consumo se considera neutro en términos de producción neta de biomasa. La materia prima utilizada procede de residuos, con este proceso se recicla, si la materia prima procede de cultivos hay que considerar si éste uso es el mejor, y se debe valorar en cada territorio.

Como desventajas el gran problema que genera la utilización de cultivos comestibles por cultivos vegetales para producir biocombustible, que los países ricos se pueden permitir, pero en los más pobres aumenta el problema del hambre. En la incineración se pueden liberar sustancias tóxicas, se tienen que utilizar filtros cuando las temperaturas superan los 900°C. (26)



Figura 13 Biomasa. Fuente,(26)

Capítulo 3. Hidrógeno

3.1. Introducción

El hidrógeno es el primer elemento de la tabla periódica. Entre todos los elementos éste es el más ligero, su estructura está formada por un protón y un electrón, su forma más estable es en forma de molécula diatómica.

Su representación es por el símbolo H y con el número atómico 1, (H1). En condiciones normales, es decir presión ambiente y temperatura normales en la superficie terrestre, el hidrógeno es un gas diatómico inodoro, insípido, incoloro y altamente inflamable. La masa atómica del hidrógeno es de 1,00784 u, con este dato podemos saber que es el elemento más ligero, además, es el más abundante en el universo. En realidad, este gas es el combustible de las estrellas, el hidrógeno al fusionarse en las estrellas produce una gran cantidad de energía y helio.

Se han depositado muchas expectativas con el hidrogeno como combustible, de hecho, las investigaciones así lo afirman. Por sus propiedades físicas y químicas el hidrogeno es un combustible bastante diferente a los demás. El hidrógeno, además no es un recurso natural, siempre está combinado con otros compuestos, el agua o los hidrocarburos. Por este hecho se tendrá que obtener a través de diferentes procedimientos. Estos procedimientos pueden ser tema de discusión, y si no fuera poco una vez obtenido resulta muy complicado su almacenamiento, transporte y su distribución.

Parece ser que todo sean desventajas, pero realmente hay unas buenas razones para el uso del hidrógeno:

- Eficiencia energética. La energía química del hidrógeno se puede convertir en energía eléctrica.
- Dependencia energética: Hay una dependencia de combustibles fósiles, sus reservas son finitas. Eso con el hidrógeno no pasa.
- Medioambientales: La combustión del hidrógeno libera vapor de agua, no libera CO₂.

Todo lo anterior justifica que EEUU i la UE quieran hacer un paso de la producción de energía basada en combustibles fósiles a una generada por el hidrogeno.(27)

3.2. Historia

Cerca del año 1500, T. Von Hohenheim (1493-1541), más conocido como Paracelso se dio cuenta que si a las limaduras de hierro u otros metales se combinan con ácido sulfúrico, se liberan burbujas que son altamente inflamables. En ese momento Paracelso no sabía que estaba tratando con hidrógeno ya que nunca antes se había descrito o documentado. Posteriormente, en 1617 el señor Robert Boyle gracias a unos experimentos redescubrió y describió el mismo efecto, pero solo lo nombró como “aire inflamable”, no se había catalogado como hidrógeno.

No fue catalogado como tal hasta el 1766, cuando Henry Cavendish reconoció el hidrógeno gaseoso como un elemento químico, le consta el descubrimiento como tal incluso cuando había un error en su hipótesis. Cavendish se tropezó con el hidrógeno mientras experimentaba con el mercurio y ácidos, Cavendish afirma que el “aire explosivo” salía del mercurio y no de los ácidos. Pese a esta hipótesis errónea, Cavendish fue capaz de describir muchas de las propiedades del hidrógeno y tradicionalmente se le otorga el descubrimiento del hidrógeno.

No fue hasta 1783, Antoine Lavoisier bautizó a este “aire explosivo” como hidrógeno. Esta palabra procede del griego antiguo ὕδωρ (hydro): ‘agua’ y γένος-ου (genos): ‘generador’; es decir, «productor de agua».

En 1832, Michael Faraday descubrió las leyes que sigue el proceso de electrólisis, y fue capaz de generar hidrógeno a partir del agua.

En 1839, Sir William Grove, descubría la reacción electroquímica, las pilas de combustible. Ente 1839-1845 trabajó con las baterías de gas que hoy son las pilas de combustible.

En 1898, Sir. James Dewar, él pudo licuar el hidrógeno a temperaturas de 20,4K. Inventó el vaso Dewar, es un recipiente para proporcionar aislamiento térmico por convección, conducción y radiación, sirve para transportar gases licuados o productos que deben estar refrigerados a baja temperatura, -259,14°C.

Sobre el 1920, se empezó a producir de manera industrial el hidrógeno, pero no fue hasta el 1935 cuando el Sr. Bacon fabricó el modelo de pila de combustible.

En 1962, la NASA en misiones espaciales estableció las pilas de combustible.

En 1970, el Sr. Kordesh fabricó el primer coche impulsado con hidrógeno de una pila de combustible. De aquí se puede decir que las pilas de combustible pueden aplicarse a nuestra sociedad para beneficiarnos de los medios de transporte.

En 1977 se inició el programa de hidrógeno de la Agencia Internacional de la Energía.

En 2002, se creó el grupo de Alto Nivel en Europa, y en 2003 se firmó el “International Partnership on Hydrogen Economy”.

3.3. Propiedades y Estructura

El elemento más abundante del universo es el Hidrógeno, con un peso del 92% del total, le sigue el Helio con un 7% el resto un 1%. Tiene una masa muy pequeña por eso es difícil de encontrar en atmósfera terrestre. Generalmente lo encontramos en forma de agua. Como el planeta tiene un 82% de agua, por eso es abundante. Sólo tiene un número atómico igual a 1 en la tabla periódica de elementos. Está formado por un electrón y un protón.

En la naturaleza no es habitual hallar hidrógeno atómico, es decir átomos aislados (H). Es más habitual pero poco frecuente encontrar como una molécula diatómica (H₂), conocida como dihidrógeno o simplemente hidrógeno. Lo más habitual es que el hidrógeno forme parte de algún compuesto, ya que gracias a sus propiedades reacciona con la mayoría de la tabla periódica formando: hidruros, sales, ácidos, metano, polímeros, agua...

La molécula de hidrógeno es la más pequeña que hay, en la naturaleza se encuentra en forma de gas, es inodoro, incoloro e insípido. Ofrece una fácil difusión en el medio y una buena conductividad calorífica.(28,29)

Como propiedades tenemos:

- Temperaturas:
 - Temperatura crítica $-240,18\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Temperatura de evaporación $-252,76\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Temperatura de fusión $-259,1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Densidad:
 - Gas $0,08988\frac{\text{g}}{\text{l}}$
 - Líquido $0,0708\frac{\text{g}}{\text{ml}}(-253\text{ }^{\circ}\text{C})$
 - Sólido $0,0706\frac{\text{g}}{\text{ml}}(-262\text{ }^{\circ}\text{C})$
- Estructura cristalina hexagonal.
- Masa atómica: $MH = 1,007940\frac{\text{Kg}}{\text{kmol}}$
- Masa molecular: $MH_2 = 2,01588\frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$
- Constante específica del gas, $R' = \frac{R}{MH_2} = \frac{8314}{2,01588} = 4124,3\frac{\text{J}}{\text{Kg K}}$.
- Calor específico a presión constante, $C_p = 28,623\frac{\text{kJ}}{\text{kmol K}}$
- Calor específico a volumen constante, $C_v = 20,309\frac{\text{kJ}}{\text{kmol K}}$.
- Tiene una alta velocidad de inflamación. Apto como combustible para motores de combustión interna, turbinas de gas o motores a chorro.

El hidrógeno es capaz de formar enlaces tanto covalentes como iónicos, puede formar compuestos simples o complejos y puede participar en la mayoría de las reacciones químicas: electroquímicas, orgánicas, biológicas...

Otra capacidad del hidrógeno es tender puentes llamados “puentes de hidrógeno” entre moléculas y gracias a estos puentes las moléculas se vuelven muy estables como el ADN o el agua.

Como ya se ha mencionado el hidrógeno es el elemento más abundante del universo, este supone más del 75% en masa y más de 90% en número de átomos. Este elemento se halla en abundancia en las estrellas y los planetas gaseosos gigantes. Las grandes nubes de dihidrógeno están asociadas a la formación de estrellas y también es crucial para las estrellas ya que actúa combustible para ellas para realizar fusión nuclear entre los núcleos del hidrógeno.(28,29)

En condiciones normales en la superficie terrestre, este material existe en su forma diatómica H₂. A pesar de eso, el hidrógeno en forma de gas es muy poco abundante en la atmósfera de la tierra, una parte por millón en volumen, esto es gracias a que debido a su pequeña masa este gas es capaz de escapar de las garras de la gravedad. Pese a que las partículas subatómicas son abundantes en el espacio interestelar, son difíciles de generar, purificar y almacenar en la Tierra. El hidrógeno es el décimo quinto elemento más abundante en la tierra, pero la mayoría de este elemento es parte de otros elementos tales como hidrocarburos o agua. El hidrógeno en forma gaseosa es producido por algas y bacterias, y es un componente natural de los gases emitidos por los seres vivos como las flatulencias. Por ejemplo, el metano que es una fuente de enorme importancia para conseguir hidrógeno. (28,29)

3.4. Energía del hidrógeno

El nivel de energía de un átomo de hidrógeno en su estado fundamental electrónico es -13,6 eV, que corresponde a un fotón ultravioleta más o menos. Usando el modelo atómico de Bohr, los niveles de energía del hidrógeno se pueden calcular con mucha precisión. Sin embargo, la fuerza electromagnética atrae protones y electrones entre sí, al igual que los planetas y otros cuerpos celestes se atraen entre sí a través de la gravedad. Dado que Bohr aceptó la naturaleza discreta (cuantificada) del momento angular al comienzo de la mecánica cuántica, en el modelo de Bohr, los electrones solo pueden moverse una cierta distancia permitida alrededor del protón y, en consecuencia, tener un cierto valor de energía permitido. Una descripción más precisa del átomo de hidrógeno la proporciona un tratamiento puramente mecánico cuántico, que utiliza una formulación equivalente de la ecuación de onda de Schrödinger o la integral de trayectoria de Feynman para calcular la densidad de probabilidad de electrones. El tratamiento de los electrones mediante la hipótesis de Broglie reproduce resultados químicos de forma más natural que el modelo de partículas de Bohr, aunque sus resultados energéticos y espectrales son los mismos. Si se utilizan masas nucleares y de electrones reducidas en la construcción del modelo, se puede obtener una mejor formulación espectral para el hidrógeno y cambios espectrales correctos para el deuterio y el tritio. Pequeños ajustes en los niveles de energía del átomo de hidrógeno corresponden a los efectos espectrales reales, que se pueden determinar usando la teoría

completa de la mecánica cuántica, que corrige los efectos de la relatividad especial y calcula las partículas virtuales producidas por electricidad. campo en el vacío. En el hidrógeno gaseoso, los niveles de energía del estado electrónico fundamental se dividen en otros niveles de la estructura hiperfina resultantes de los efectos de la interacción magnética entre los espines de los electrones y los protones. Cuando los espines de los protones y los electrones están alineados, la energía del átomo es mayor que cuando los espines están desalineados. La transición entre estos dos estados se puede lograr emitiendo fotones a través de transiciones de dipolos magnéticos. Los radiotelescopios pueden detectar la radiación producida por este proceso, que se utiliza para mapear la distribución de hidrógeno en la Vía Láctea.(30)

3.5. Isotopos

El isótopo más común del hidrógeno es el protio, tiene un electrón y un protón. Es el único isótopo estable que no tiene neutrones.

Existen tres isotopos naturales del hidrógeno que se denotan como H^1 , H^2 y H^3 . También hay otros isótopos altamente inestables H^4 , H^5 , H^6 y H^7 que solo se han sido sintetizados en laboratorio, ya que no existen en la naturaleza(31)

H^1 , Este isótopo se conoce como protio, es el isótopo más común del hidrógeno con una abundancia de más del 99,98%. (31)

H^2 , El otro isótopo estable del hidrógeno, es conocido como deuterio y su núcleo contiene un protón y un neutrón. El deuterio representa el 0,0184%, en fracción atómica, del hidrógeno presente en la Tierra, encontrándose las menores concentraciones en el hidrógeno gaseoso, y las mayores en aguas oceánicas. El deuterio no representa ningún riesgo referente a la radioactividad o de toxicidad. (31)

H^3 , El último de los isotopos naturales del hidrogeno es conocido como tritio y contiene un protón y dos neutrones en su núcleo. A diferencia del resto es radiactivo, desintegrándose en $^3\text{He}^+$ a través de una emisión beta. Su periodo de semidesintegración es de 12,33 años. Hay pequeñas cantidades de tritio que se encuentran en la naturaleza por efecto de la interacción gases atmosféricos con los rayos cósmicos. También ha sido liberado tritio a causa de los humanos, ya que una parte del tritio ha sido liberado por las pruebas de armamento nuclear. El tritio se usa en para fusiones nucleares, y en dispositivos luminosos autoalimentados. (31)

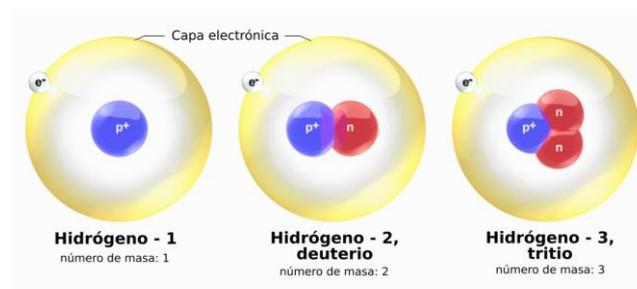


Figura 14 Isótopos naturales del hidrógeno. Fuente, (58)

El hidrógeno es el único elemento que tiene variedad nombres comunes para cada uno de sus isótopos que se encuentran en la naturaleza. Los símbolos D y T (en lugar de H^2 y H^3) se usan a veces para referirse al deuterio y al tritio, pero el símbolo P corresponde al fósforo y, por tanto, no puede usarse para representar al protio. La IUPAC declara que, aunque el uso de estos símbolos sea común, no es lo aconsejado, ya que puede dar a lugar a confusiones por uso de vocabulario diferente entre los científicos.(31)

3.5.1. Dihidrógeno

El dihidrógeno es una molécula diatómica homonuclear ¹³compuesta por dos átomos de hidrógeno; a temperatura ambiente es un gas inflamable, incoloro e inodoro.

Se puede obtener de muchas formas, pero la más común en laboratorio es mediante la reacción de ácidos sobre metales como el zinc, y su obtención a nivel industrial es mediante la electrolisis del agua. El hidrógeno se emplea desde hace tiempo para la producción de amoníaco, también se utiliza como combustible alternativo y en los últimos años se ha utilizado para el suministro de energía en las pilas de combustible.

Tiene un punto de ebullición de tan sólo 20,27 K (-252,88 °C) y un punto de fusión de 14,02 K (-259,13 °C). En el momento que tenemos muy altas presiones, por ejemplo, las que se dan en el núcleo de las estrellas gigantes de gas, las moléculas cambian su estado y su naturaleza y el hidrógeno se convierte en un líquido metálico. En cambio, a muy bajas presiones, tales como la del espacio, el hidrógeno tiende a existir como átomos individuales, simplemente porque es muy baja la probabilidad de que se combinen, sin embargo, cuando esto sucede pueden llegar a formarse nubes de H^2 que se asocian a la génesis de las estrellas.(32)

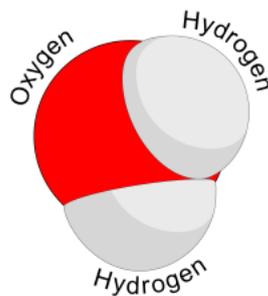


Figura 15 Estructura atómica del dihidrógeno. Fuente, (32)

¹³ Homonuclear: Son moléculas compuestas por solo un elemento, y pueden consistir en varios átomos.

3.6. Obtención del hidrógeno

Teniendo en cuenta que el hidrógeno no se encuentra en su forma pura en la naturaleza es preciso obtenerlo gracias a otras materias primas llevando a cabo ciertos procesos de refinamiento o transformación. A primera vista la producción de hidrógeno no es un problema que requiere de investigación, ya que actualmente se está produciendo hidrógeno con fines industriales mediante procedimientos suficientemente probados de forma diaria.

En el tiempo actual la producción de hidrógeno para su uso para la obtención de energía no es muy relevante ya que aún consumimos los recursos fósiles para la creación de gran medida de nuestra energía. Pero actualmente se están viendo proyectos para la utilización del hidrógeno en la vida diaria como combustible o vector energético. Afortunadamente el hidrógeno tiene muchos métodos para ser producido y muchas de las vías comparten los caminos. Por ejemplo; la electrólisis se puede llevar a cabo gracias a la energía nuclear o a la energía solar. (33–35)

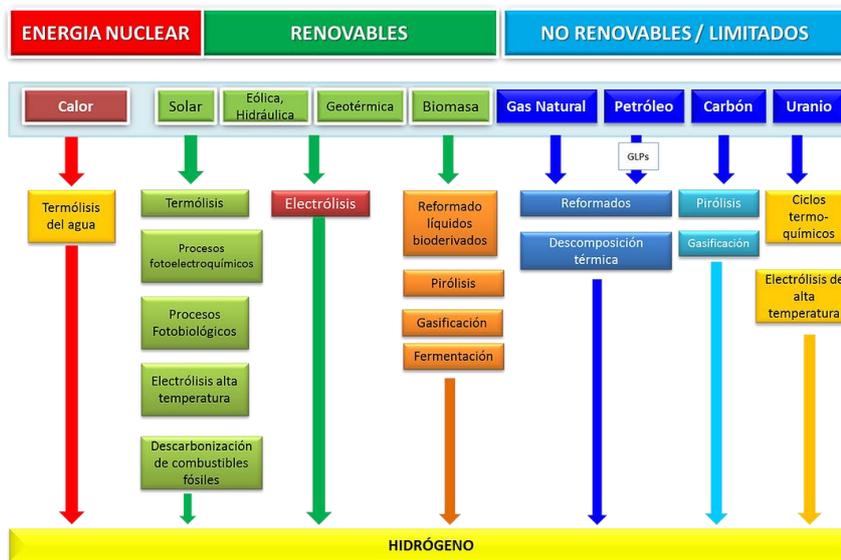


Figura 16 Formas de creación de hidrógeno. Fuente,(59)

Los procesos de conversión química son realmente amplios, estos se pueden aplicar tanto a las energías renovables como a los combustibles fósiles. Los procesos con más notoriedad son:

- Pirólisis
- Gasificación
- Reformado
 - Oxidación parcial
 - Reformado autotérmico
- Electrólisis

En todos estos procesos es inevitable la producción de CO₂ en cierta medida, pese a su inevitable formación podemos secuestrarlo, sobre todo en los procesos que usamos combustibles fósiles, este secuestro se aplica para lograr una limpieza medioambiental atribuida al hidrogeno. (33,35)

3.6.1. Pirólisis

El pirólisis se basa en la descomposición de un combustible sólido mediante la acción de calor en ausencia de oxígeno. Los productos que se encuentran después de la realización de este tipo de procesos dependen del combustible empleado, su naturaleza o composición, de la presión, la temperatura del proceso y por último de los tiempos de permanencia del material en la unidad. Los productos que se pueden obtener son:

- Gases compuestos por H^2 , CO , CO_2 e hidrocarburos tales como el metano
- Residuos carbonosos
- Líquidos hidrocarbonados

Desde el punto de vista del productor de hidrogeno interesa controlar el proceso para producir un gas de síntesis, CO y H^2 , posteriormente puede ser acondicionado utilizando la reacción de desplazamiento y un proceso de purificación.

El pirólisis ha sido utilizado desde hace bastante tiempo para obtener el llamado "gas de hulla", en el que se introduce la hulla en un horno sin aire a 1.200°C lográndose la descomposición de ésta en coque y un gas con 50% de H^2 , 10% CO , 2% de CO_2 , 30% de CH^4 , 4% de N^2 y 4% de otros hidrocarburos. Se lograban producciones de 350 g de gas por cada kg de hulla, obteniéndose como subproducto 650 g de coque.(33,35)

3.6.2. Gasificación

El proceso de gasificación consiste en una combustión con defecto de oxígeno en la que se obtiene CO , CO_2 , H^2 y CH^4 , en proporciones diversas según la composición de la materia prima y las condiciones del proceso. El oxígeno se limita entre un 10 y un 50% del estequiométrico y la temperatura oscila entre 700 y 1.500°C. La gasificación puede aplicarse tanto a la biomasa como al carbón.

Si la reacción se verifica con aire se obtiene un “gas pobre” (gas de gasógeno) que en el caso de proceder de carbón o coque contiene entre un 25 al 30% de CO , 65 al 70% de N^2 y algo de O^2 y CO_2 . Para obtener hidrógeno sería necesario efectuar una reacción de desplazamiento sobre dicho gas. Por el contrario, si la reacción se verifica con oxígeno y vapor de agua se obtiene un gas de síntesis (H^2 y CO) que puede ser empleado, además de para producir hidrógeno, para obtener combustibles líquidos como metanol y gasolina.

Por tanto, desde el punto de vista de la producción de hidrógeno interesan los procesos de gasificación con vapor de agua y oxígeno puro, ya sean a partir de carbón o de biomasa. (33,35)

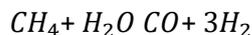
3.6.3. Reformado

Los procesos de reformado son los más habituales hoy día para la obtención de hidrógeno. Desde un punto de vista termodinámico se pueden clasificar en endotérmicos y exotérmicos. Los primeros requieren el aporte de calor desde una fuente externa, como en el reformado con vapor de agua; los segundos liberan calor en la reacción, siendo el caso de la oxidación parcial. En el reformado autotérmico se produce una combinación de los dos procesos, obteniéndose un balance neto de calor nulo. (33,35)

Reformado con vapor de agua

El proceso de reformado con vapor de agua (SMR, “Steam Methane Reformer”) se puede aplicar a gran variedad de hidrocarburos y alcoholes. De todos ellos el más utilizado por su disponibilidad y facilidad de manejo es el gas natural, que es para el que se particularizarán las reacciones químicas expuestas seguidamente.

La primera fase es donde se verifica el reformado propiamente dicho, la ecuación de continuación que posee una entalpía de reacción estándar de +206,14 kJ/mol, es decir, es endotérmica. Se produce a temperaturas alrededor de 900°C en unos tubos por los que circulan el metano y el vapor de agua a través de lechos catalizadores de base de níquel. Los tubos están contenidos en un horno cuya temperatura es de alrededor de 960°C, que se mantiene mediante quemadores.



A la salida del reformador el gas se dirige a la unidad de desplazamiento de CO (“CO-shift”) en la que se verifica la reacción sobre catalizadores de cobre, que posee una entalpía de reacción estándar de -41,17 kJ/mol, siendo por tanto exotérmica. La cantidad de calor liberada y su nivel de temperatura no es suficiente para satisfacer totalmente la demanda de la reacción de reformado, por lo que parte del gas natural se emplea en los quemadores para mantener la temperatura de operación del reformador. El calor liberado en la reacción de desplazamiento se aprovecha para precalentar el gas natural a su entrada al reformador

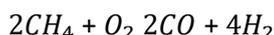


El gas producido como consecuencia de las reacciones pasa por un condensador en el que se le retira el vapor de agua y finalmente llega a la tercera fase del proceso, la de depuración. El gas que llega a esta unidad es un gas rico en H_2 con CO_2 , restos de agua, CO y CH_4 . Esta corriente gaseosa se depura en un sistema separador de membranas o de adsorción-desorción (PSA, "Pressure Swing Adsorption") de donde se obtiene hidrógeno con una pureza de, 99,999%. Los gases adsorbidos constituyen el llamado "gas de cola" que, al ser combustible, se recircula hacia los quemadores del reformador. El rendimiento del proceso de reformado de gas natural con vapor de agua se sitúa aproximadamente en el 80% (medido respecto a los poderes caloríficos inferiores del hidrógeno producido y del gas natural consumido). (33,35,36)

Oxidación parcial

La oxidación parcial (POX, "Partial Oxidation") consiste en una oxidación incompleta de un hidrocarburo, por ejemplo, gas natural, donde sólo se oxida el carbono (y sólo hasta CO), quedando libre el hidrógeno, según la reacción.

La entalpía estándar de reacción es de -36 kJ/mol, siendo por tanto una reacción exotérmica, pudiendo así prescindir de quemadores externos para mantener la reacción.



La reacción se verifica con oxígeno puro o con aire en presencia de catalizadores y transcurre a temperaturas superiores a $800^\circ C$. La elevada presencia de CO en el gas obtenido tiene el riesgo de la deposición de carbonilla, especialmente si la reacción ocurre a presión elevada, lo que es deseable para lograr reformadores más compactos. Esta carbonilla depositada sobre los catalizadores inhibe la continuación del proceso.

El CO formado se puede eliminar oxidándolo para formar CO_2 o bien desplazándolo con agua según la reacción para obtener más hidrógeno y nuevamente CO_2 .

El hecho de que la reacción sea exotérmica y de que se active con facilidad abre una expectativa interesante a la POX como medio para producir hidrógeno embarcado en aplicaciones de transporte, al poder utilizar así la experiencia de vehículos alimentados con gas natural. En este caso no sería factible la captura de CO_2 .

La eficiencia del proceso es de alrededor del 70% en grandes producciones industriales. (33,35,37)

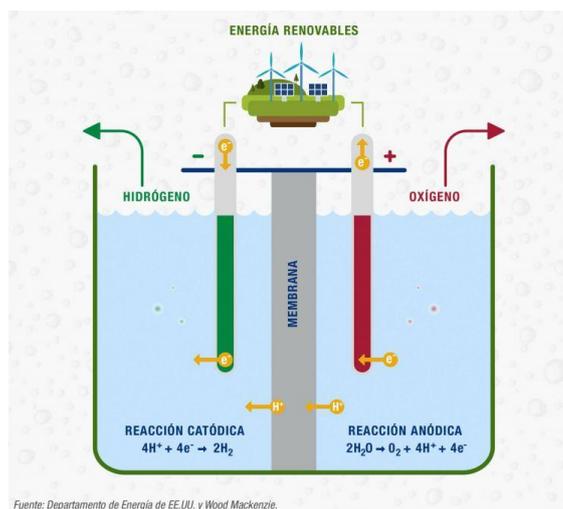
Reformado autotérmico

El reformado autotérmico (ATR, "Auto-Thermal Reforming") es un proceso bien estudiado aplicado industrialmente en grandes unidades centralizadas. Sólo recientemente se ha trasladado esta tecnología a pequeños equipos. Se trata de un método que combina el SMR y el POX, de modo que el calor liberado en el último se aproveche para el primero, dando lugar a un balance neto nulo. El CO producido es desplazado con agua para producir más hidrógeno y CO_2 . La eficiencia del proceso es similar a la del método de oxidación parcial.

3.6.4. Electrólisis

La unidad o celda de electrólisis está formada por un electrolito, dos electrodos y una fuente de corriente. Estos electrodos se llaman ánodo y cátodo, se transfieren iones entre si, provocando la reacción química deseada.

- **Ánodo (+):** Es el electrodo que pierde electrones, eso quiere decir que a lo largo de la reacción se va oxidando. Estos electrones que se desprenden van hacia el cátodo.
- **Cátodo (-):** Es el electrodo que recibe electrones, eso quiere decir que a lo largo del tiempo se producirá una reacción de reducción
- **Electrolito:** Desde un punto de vista químico, el electrolito puede ser cualquier líquido o sustancia que contenga iones libres. Gracias a estos iones el líquido o sustancia es un conductor eléctrico. Normalmente, es una solución acuosa o salina en la que se sumergen los electrodos. (33,35,38)



Fuente: Departamento de Energía de EE.UU. y Wood Mackenzie.

Figura 17 Esquema de la electrólisis. Fuente,(38)

3.7. Usos del hidrógeno

El hidrógeno se usa en un gran número de aplicaciones industriales, dentro de la industria hay muchos consumidores, pero el gran porcentaje de la industria del hidrogeno se lo reparten entre el sector de la sintetización de amoniaco que ocupa un 40,3%, a continuación, tenemos el sector de la refinación de petróleo que abarca un 37,3% y el último gran grupo es el sector de la producción de metanol que posee un 10%. El porcentaje restante está repartido entre la industria de la alimentación, la farmacéutica, la electrónica, etc. A pesar de un mercado muy establecido, en los últimos años el sector que estudia el hidrogeno como portador energético ha crecido

mucho en el listado de aplicaciones del hidrógeno. Como portador energético el hidrogeno puede ser usado para pilas de combustible o como combustible directamente.(39)

Podemos clasificar los usos del hidrógeno dependiendo a que sector lo queramos aplicar

- Aplicaciones portátiles
- Aplicaciones estacionarias
- Aplicaciones en transporte común
- Aplicaciones espaciales

3.7.1. Aplicaciones portátiles

El uso predilecto de forma portátil del hidrogeno son las células de combustible para el uso tanto en plantas como en vehículos debido a su tamaño medio, medio-grande. Actualmente los diseñadores se han dado cuenta que sería posible la construcción de células de combustible mucho más pequeñas, tanto que sería factible usarlas como baterías para dispositivos electrónicos portátiles hasta 100W. La mayor limitación de las células de combustible es el peso.

Las células de combustible portátiles podrían ofrecer muchas más horas de consumo que las baterías actuales. Gracias a la electrificación del equipo personal que tenemos hoy en día, por ejemplo: móviles, ordenadores, tabletas, smartwatch, etc., se abre un amplio rango de diferentes aplicaciones para la investigación y aplicaciones de las células de combustible. Estas células deben ser alimentadas con hidrógeno, metanol o etanol. Hoy en día, el factor tiempo de duración en cuanto a baterías está muy demandado y se compite con los altos precios de las baterías, gracias a eso la entrada de células de combustible podría estar muy aceptada por los consumidores.(39)

Tipos de células de combustible para aplicaciones portátiles

- Células de combustible de membrana polimérica que utilizan hidrógeno puro (H_2 -PEMFC)
- Células de combustible de membrana polimérica que utilizan gases ricos en hidrógeno procedente del refinado de hidrocarburos o alcoholes (Ref-PEMFC)
- Células de combustible de metanol directo (DMFC)
- Células de combustible de alta temperatura: células de óxido sólido (SOFC) y células de carbonatos fundidos (MCFC) que pueden usar hidrocarburos directamente.

Aplicaciones

Las aplicaciones para células de combustible de forma portátil son capaces de suministrar como máximo una potencia de 5 kW. Pero se diferencian tres grupos, dependiendo de la cantidad de potencia que suministran.(39)

- Suministran una potencia inferior a 20W

- Suministran una potencia entre 20-100W
- Suministran una potencia entre 100-5000W

Aplicaciones para dispositivos de menos de 20W de potencia

Este tipo de potencia se relaciona con dispositivos electrónicos que actualmente funcionan con baterías recargables o pilas. Estos pueden ser:

- Teléfonos móviles o smartphones
- Localizadores
- Radios
- Agendas electrónicas o PDA
- Reproductores de música
- Cargador de baterías
- Lector libros digitales
- ...

Dentro del mercado de las fuentes de energía para dispositivos que no consumen más de 20W uno de los factores claves para el triunfo no es tanto la fiabilidad, el tiempo de vida ni el coste, sino que el mercado se rige por el volumen de la fuente de energía. Ya que hoy en día podríamos tener una batería que durara días para nuestros teléfonos, pero esta ocuparía un volumen monstruoso al igual que aumentaría el peso del teléfono considerablemente. Por lo tanto, es importante reducir el tamaño de las células de combustible para hacerlas más comercialmente viables. (39)

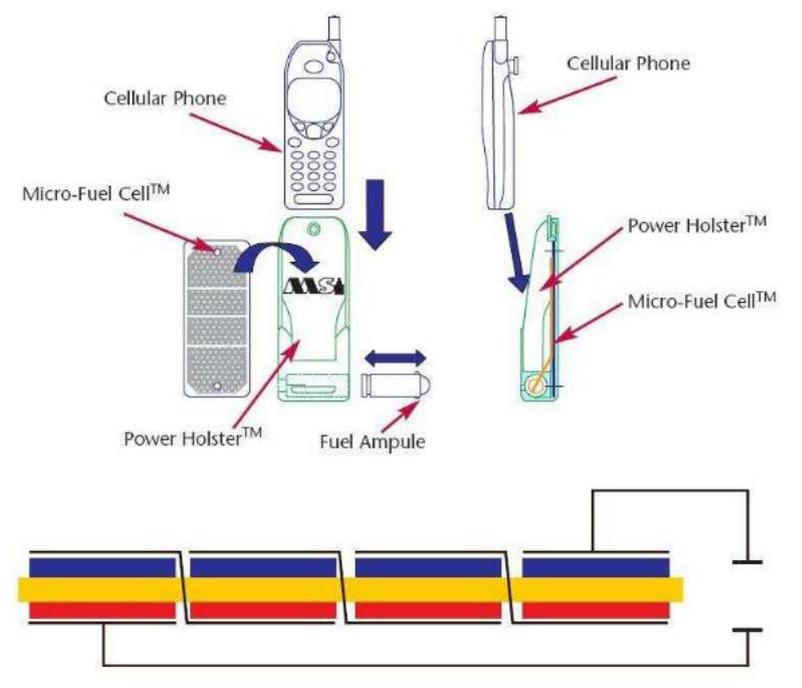


Figura 18 Esquema de un teléfono móvil alimentado con pila de hidrógeno. Fuente, (39)

Aplicaciones para dispositivos con potencias entre 20-100W

Los elementos que están dentro del rango de potencias de 20 a 100W son los siguientes:

- Videocámaras
- Juguetes
- Herramientas inalámbricas
- Ordenadores portátiles
- ...

En este tipo de dispositivos el volumen es menos crucial que en el anterior, este tipo de dispositivos se reparten el factor clave entre el volumen, el peso y el tiempo de funcionamiento. Las células de combustible reducen su eficacia en 50% en este sector ya que toda la energía que no se convierte en electricidad se transforma en calor, y este puede dañar severamente los componentes. El diseño para evitar el sobrecalentamiento y alargar la vida útil de la célula de combustible requiere una gran inteligencia en el diseño térmico. (39)

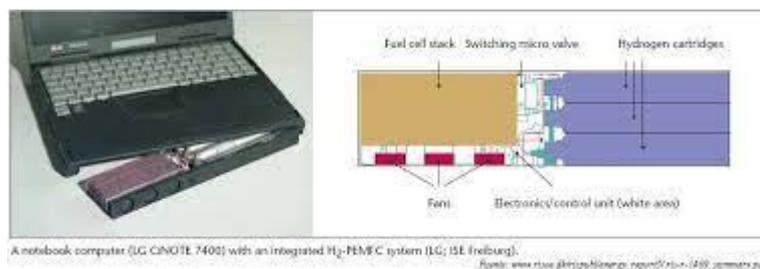


Figura 19 Ordenador portátil alimentado con una pila de hidrógeno. Fuente, (39)

Aplicaciones para dispositivos de potencia entre 100-5000W

Los elementos que están dentro del rango de potencias son los siguientes:

- Generadores portátiles
- Herramientas inalámbricas de alta potencia
- Vehículos ligeros
- Unidades de potencia auxiliar

Los generadores de potencia que entregan hasta 5000W podrían entrar en el mercado de forma inmediata ya que el coste como la vida media no son factores clave en este tipo de aplicaciones.(39)

Ventajas de las células de combustible en aplicaciones portátiles

- Como generadores portátiles, eliminan las emisiones nocivas y eliminan los ruidos y vibraciones.

- Si sustituimos las baterías por células de combustible pueden aumentar el tiempo de funcionamiento
- El precio es muy similar a los elementos que sustituyen

Desventajas de las células de combustible en aplicaciones portátiles

Las células de combustible tienen problemas de fiabilidad, vida media, peso y volumen. Además del factor “seguridad”, ya que el combustible en si es peligroso.(39)

3.7.2. Aplicaciones estacionarias

A pesar de que hoy en día la atención en el hidrogeno y las pilas de combustible este centrada en los vehículos, el uso mayoritario lo realizan las aplicaciones estacionarias. Dentro de estas aplicaciones se puede cosechar mejoras de eficiencia y reducción de las emisiones nocivas. Estas aplicaciones van desde grandes plantas a usos domésticos como generación de calor y electricidad en los edificios.

Las aplicaciones estacionarias cubren un gran espectro de actividades. Las unidades pequeñas pueden proporcionar electricidad, calor y agua caliente a casas individuales o para un bloque de viviendas. Para las casas individuales se necesitan menos de 10000W y los bloques de viviendas necesitan entre 100000 y 300000W.

Las células de combustible estacionarias permiten tener una generación de energía en un amplio rango de tamaños, a esto le debemos sumar su alta eficiencia y sus bajas emisiones nocivas. Dentro de las células de combustible estacionarias que utilizan distintos materiales y que funcionan a temperaturas distintas, el rango de actuación empieza en los 60°C y llega hasta los 1000°C.(39)

Aplicaciones

Las aplicaciones de las células estacionarias las podemos dividir en dos grupos dependiendo del tamaño que tengan.

- Las células estacionarias pequeñas, que serían la que generan electricidad de forma individual
- Las células estacionarias grandes, que serían las que generan electricidad de forma centralizada.

Pequeñas células estacionarias

Las células estacionarias tienen un rango de potencia de 500 a 10000W, estas serían buenas opciones como generadores de emergencias o generadores en lugares muy remotos. Pero tienen varios problemas; los precios son todavía muy altos y su tiempo de vida es relativamente corto, ya que, esta aceptado que un sistema de alimentación domestico debe funcionar alrededor de

40000 horas sin ningún mantenimiento, en cambio pocas compañías han demostrado un sistema que funcione más de 10000 horas.

El mercado de los generadores de emergencia es muy goloso, ya que existe una demanda de generadores fiables. La demanda la requieren bancos, empresas de telecomunicaciones o empresas bursátiles donde un corte energético puede suponer una pérdida de millones de dólares o euros.(39)



Figura 20 Pilas de hidrógeno estacionarias. Fuente,(39)

Grandes células estacionarias

Las células de combustible de gran tamaño pueden construirse eligiendo diferentes tecnologías.

- Las células de combustible de ácido fosfórico
- Las células de combustible de carbonatos fundidos
- Las células de combustible poliméricas
- Las células de óxidos sólidos

Ventajas de las células de combustible estacionarias

- Pueden suministrar electricidad, agua caliente, calor de forma simultánea.
- Las células pueden que son utilizadas en el transporte, pueden ser utilizadas de forma estacionaria.
- Tienen una alta eficiencia.
- Pueden ser instaladas en áreas sensibles, ya que tiene bajas emisiones tanto contaminantes como sonoras.

Inconvenientes de las células de combustible estacionarias

- Se requiere una profunda investigación para que sean económicamente más viables
- Se necesita mejora en los procesos relacionados con la fabricación de las células
- Es imprescindible que los periodos de vida sean más largos

- Es imprescindible reducir costos de fabricación para la viabilidad en el mercado
- La fiabilidad debería ser más alta



Figura 21 Pila de combustible de Mitsubishi. Fuente, (60)

3.7.3. Aplicaciones en el transporte

Uno de los puntos de mira de los investigadores del hidrógeno como portador de energía es porque se puede abastecer directamente a los motores de combustión interna con hidrógeno. Es decir, podríamos alimentar coches, motores, buques y aviones. En ese caso los motores de combustión serían de emisión cero y en el caso que los vehículos usaran células de combustible aparte de emisiones cero también serían silenciosos. Otra de las oportunidades que nos brinda el hidrógeno es su uso como combustible en las turbinas de gas, que también se están sometiendo a estudio para su viabilidad en el mercado. Uno de los problemas de hoy en día de las turbinas de gas es su gran tamaño, eso repercute en que no se pueden usar en vehículos, pero Estados Unidos y Alemania tienen programas de investigación para reducir su tamaño para poder usarlas en vehículos de carretera.

El gran problema del uso del hidrógeno en los vehículos es el almacenamiento del mismo. Eso es debido a la baja densidad del hidrógeno lo cual dificulta en gran medida su almacenamiento. (39)

Ventajas del uso del hidrógeno en el sector del transporte

- Los motores de combustión interna actuales podrían usar hidrógeno con algunas modificaciones.
- El hidrógeno puede ser producido en el hogar, a partir de la generación distribuida.
- A pesar de la inexistente infraestructura de hidrogeneras, el hidrógeno puede representar el futuro de los combustibles y podría suponer la no dependencia entre países.
- No tienen emisiones de CO_2 o de gases invernadero, solo emiten vapor de agua. Por lo tanto podemos hablar de un combustible no contaminante.

- Su toxicidad es nula por lo cual es un combustible ideal para su uso en calderas, no tiene la peligrosidad del monóxido de carbono y no deja residuos en el aire.
- Su poder calorífico es tres veces superior a la mayoría de las fuentes de combustible de origen fósil, es decir con menos masa de combustible realizamos las mismas tareas.

Inconvenientes del uso del hidrógeno en el sector del transporte

- El hidrógeno supone un gran problema con el almacenamiento. Esto es debido a su ligereza, ya que en su estado gaseoso se escapa fácilmente por tanto la instalación debe ser adecuada para el uso del hidrógeno.
- El coste de las pilas de combustible es elevado, al igual que el proceso de reformado a través de electrólisis.
- Los dispositivos necesarios del sistema tienen un coste elevado. Debido a que están especializados para el uso del hidrógeno.
- Es necesario demostrar la durabilidad de los componentes del sistema.
- La seguridad del sistema debe estar aprobada, porque el hidrogeno es una sustancia muy peligrosa, al igual que el gas natural, su rango de inflamabilidad es muy amplia. Además, su peligrosidad también se basa en su dificultad en la detección, es inodoro e incoloro al igual que el gas butano o el propano. (39)

3.7.4. Aplicaciones espaciales

El transporte aeroespacial es hoy en día el mayor consumidor de hidrógeno líquido. A lo largo de los últimos años se ha usado el oxígeno líquido en combinación con el hidrógeno líquido como combustible. La ventaja del uso de este combustible es el alto impulso específico, esto junto al bajo peso molecular y la alta temperatura de la llama, hacen que este combustible sea el mejor para los cohetes.(39)

Las ventajas que los ingenieros han encontrado en el uso del hidrógeno como combustible de las aeronaves son:

- Minimizar la contaminación.
- Posibilita a la aeronave ser más ligera y silenciosa.
- Necesita una menor superficie de alas y menores espacios de despegue.
- Mejora las características de eficiencia y seguridad.

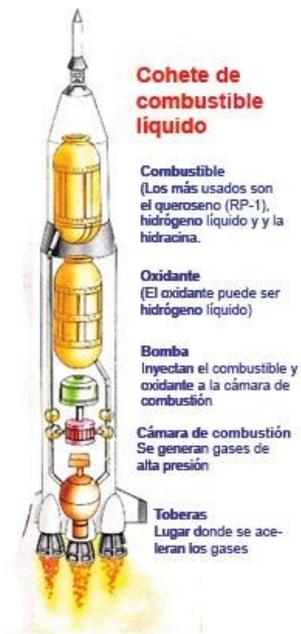


Figura 22 Esquema del funcionamiento de un cohete espacial. Fuente, (61)

3.7.5. Aplicaciones marítimas

En esta sección se comentará en primer lugar el uso del hidrógeno en el sector naval seguido de diversos proyectos reales que utilizan de una u otra manera el hidrógeno en el ámbito marítimo.

Actualmente estamos en una incansable búsqueda de nuevos combustibles más sostenibles, como el hidrógeno, pero en el momento que decidimos usarlo se nos vendrá una pregunta a la mente, ¿Cómo funcionan los barcos impulsados por hidrógeno verde? (10)

Simplificadamente, el hidrógeno se obtiene mediante un proceso de electrólisis o ruptura de la molécula de agua, esto conlleva el uso de electricidad para poder disociar el hidrógeno del oxígeno. En este proceso uno de los factores clave es la procedencia de esta electricidad, ya que si esta proviene de fuentes renovables y no contaminantes el hidrógeno se denominará hidrogeno-verde. (10)

Uno de los factores claves en el transporte marítimo alimentado con hidrogeno es el almacenamiento del mismo y aparte la posesión de pilas de combustible adecuadas al tonelaje de la embarcación.

Noruega, por ejemplo, es uno de los países más avanzados en la utilización de hidrogeno verde para usos navales, debido a sus fuertes y grandes inversiones.

En este momento nos hemos podido dar cuenta del gran esfuerzo que esta realizando la industria del transporte marítimo por mantener un medioambiente mas limpio, y unos mares menos acidificados. Sin embargo, estos avances también deben ir acompañadas de desarrollo en el resto de ramas de la industria naval. (10)

FITUR

El primer proyecto que se comenta es la construcción de un ferry de pasaje eléctrico. Su propiedad reside en la empresa Balearia, esta asegura que la embarcación ofrecerá un transporte libre de emisiones contaminantes en las estancias y aproximaciones a puerto. La ruta principal de este buque es Ibiza-Formentera, además de un transporte verde también contará con un laboratorio de pruebas para el uso de hidrógeno verde.

Características del buque:

- Eslora: 83 metros
- Manga: 15 metros
- Velocidad: 12,5 nudos

El buque tendrá capacidad para transportar 14 camiones y 350 personas, en cuanto a su estructura será “double ended”, eso significa que tanto su proa como su popa serán operativas por tanto las maniobras de atraque y desatraque serán mucho más ágiles. Se estima que el inicio de sus operaciones será en el verano del 2023.

Este novedoso buque se está construyendo en los astilleros de Armón de Vigo, según sus diseñadores contará con una instalación de baterías que se recargarán durante la travesía. El ferry conectará las Pitiusas en una hora, esto permitirá la mejora de la calidad del aire en los puertos y alrededores reduciendo un 80% las emisiones de efecto invernadero respecto al resto de barcos que realizan la misma ruta.



Figura 23 Fitur, embarcación de Balearia. Fuente,(40)

En el laboratorio de hidrógeno se instalará una celda de combustible de hidrógeno comprimido de 100 KW, esta celda será la de mayor capacidad que existe actualmente. Según balearia su objetivo es “Usar este barco como laboratorio de pruebas a pequeña escala para aprender sobre este combustible y aplicar estos conocimientos a largo plazo, cuando se prevé que esté disponible un sistema de almacenaje más maduro y estable que el actual hidrógeno comprimido.”(40,41)

Energy Observer

El segundo proyecto es el buque que se botó el 2017 que tiene por nombre Energy Observer. Es una embarcación de 30,5 metros de eslora y está patrocinada por la famosa empresa de vehículos terrestres “Toyota”. Esta nave utiliza una combinación de energía renovables para su impulso, se basa en las siguientes energías:

- Energía eólica
- Energía solar
- Energía hidráulica
- Energía a partir de hidrógeno



Figura 24 Energy Observer. Fuente, (42)

Su capacidad de generación de hidrógeno viene dada a su electrolizador que descompone el agua en oxígeno y hidrógeno para comprimirlo y almacenarlo posteriormente en depósitos. Estos depósitos suministran 22KW a una pila de combustible la cual genera gran cantidad de electricidad a la embarcación. A parte de este sistema esta nave también cuenta con un sistema de placas fotovoltaicas, molinos de viento a escala reducida y motores que generan electricidad gracias a las olas, llamados hidrogeneradores. Concretamente tiene estos sistemas:(42)

- 130 m² de paneles fotovoltaicos
- 2 turbinas eólicas
- 2 hidrogeneradores

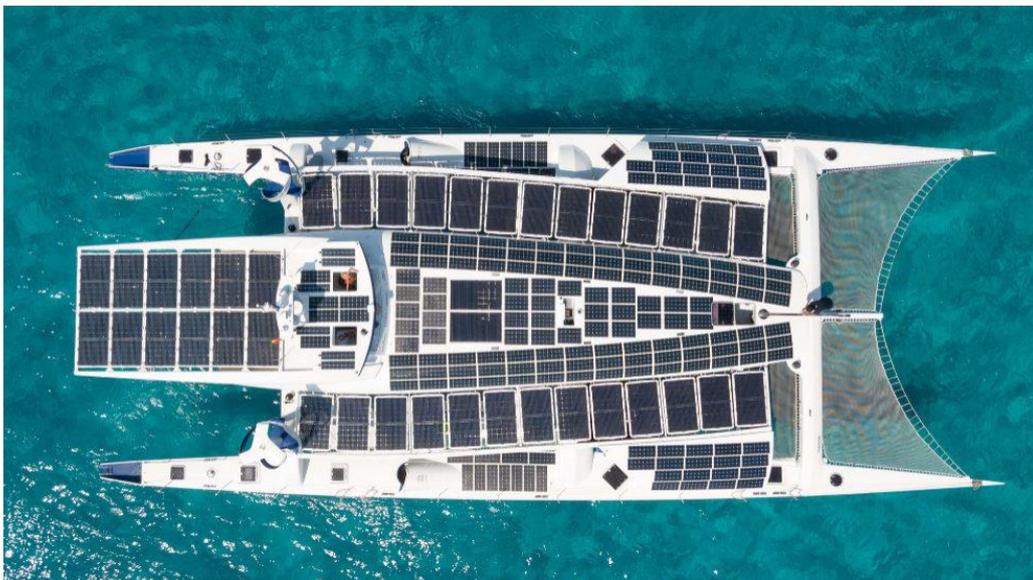


Figura 25 Energy Observer desde arriba. Fuente, (42)

Energy Observes II

El tercer proyecto es el hermano mayor del energy observer, los desarrolladores querían probar que las energías renovables también pueden alimentar buques de carga.

A pesar de su hermano pequeño este es capaz de transportar enormes y pesadas cargas a través del océano, concretamente puede transportar hasta 240 contenedores. Esta nave esta principalmente alimentada por hidrógeno líquido proveniente de las bases terrestres que desarrollan hidrógeno a través de procesos químicos eficientes. En el momento que el buque esté en alta mar podrá obtener propulsión eólica debido a sus cuatro alas verticales, instaladas en cubierta. Gracias a estas alas su consume decrece un 40%, eso significa que en algún momento puntual puede navegar a coste cero.

Los tanques de hidrógeno están diseñados para poder albergar hasta 70 toneladas de hidrógeno líquido, lo cual permite rutas de hasta 7400 kilómetros. (43,44)

Características:

- Eslora: 120 metros
- Manga: 22 metros
- Velocidad: 12 nudos



Figura 26 Energy Observer II. Fuente, (44)

Infra estructura de hidrogeneras

Dentro de las oportunidades futuras del hidrógeno podemos encontrar, aparte de buques que funcionan con hidrógeno, buques que se dedican a generarlo y almacenarlo para su uso o venta, también tenemos la oportunidad de crear la infraestructura que tenemos con los combustibles fósiles, pero con hidrógeno.

Para empezar, podemos inspirarnos o reacondicionar las plataformas Offshore, así no las desperdiciáramos, utilizar las plataformas para la producción de hidrógeno juntamente con buques FPSO¹⁴ y estaciones de tierra se podría construir el concepto de “hidrogeneras”. Estas serían zonas de reabastecimiento de hidrógeno, en el caso marítimo se podría hacer desde la propia plataforma o recurrir al repostaje “ship to ship”. Con este concepto y productoras de hidrógeno en tierra podríamos tener un sistema estable para un consumo de hidrógeno a gran escala o a escala mundial(45)



Figura 27 Planta offshore. Fuente,(45)

¹⁴ Unidad flotando de producción, almacenamiento y transferencia de petróleo.



Figura 28 Sistemas de producción, transporte y almacenaje de hidrógeno. Fuente, (45)

3.8. Almacenamiento y transporte

Almacenamiento

Indiscutiblemente que la manera más práctica y efectiva de almacenar es un gas es licuado, así puede a ver mucha más cantidad del gas. Será necesario construir una estación frigorífica que pueda licuar el hidrógeno a la temperatura de condensación y a una presión atmosférica indispensable.

Hoy en día, el hidrógeno se puede almacenar de diferentes formas:

- Almacenamiento estacionario: se fija en un único punto, en las plantas de producción.
- Almacenamiento no estacionario: La distribución del gas es por carretera, mar o aire. Es más caro.

La estructura para almacenar el hidrógeno es:

- Sistemas de alta presión, en ella se comprime el gas a altas presiones entre 200-700 bar. Estos tanques son costosos, pero para los sistemas no estacionarios pueden ser la solución más rentable.
- Sistema de almacenamiento de hidrógeno líquido a temperatura criogénica: se debe bajar la temperatura del hidrógeno en forma gaseosa hasta llegar a los 20K, así se condensará el gas a una presión de una atmósfera. La contención del hidrógeno a estas temperaturas se consigue gracias a unos recipientes aislados al vacío o tanques a doble capa.

- Por medio de hidruros metálicos: El almacenamiento mediante hidruros se divide en tres tipos: iónico, metálico o covalentes. El metal se encuentra libre de hidrógeno, se inyectará hidrógeno, éste se disuelve y aumenta la presión del compuesto.
- Almacenamiento subterráneo de hidrógeno gaseoso: este almacenamiento debe ser puntual, y siempre según el terreno. Este almacenamiento se parece mucho al almacenamiento de gas natural en cavidades subterráneas. (46,47)

Transporte

Actualmente se está apostando por las energías alternativas, ya que las fósiles al no ser renovables van a extinguirse y además de la contaminación ambiental que producen. El hidrógeno como energía alternativa, precisa de ser transportado. La manera de transportar el hidrogeno puede ser:

- Transporte de hidrógeno a alta presión:
 - Grandes cantidades se hace mediante gasoductos. Las mismas instalaciones para el gas natural se pueden utilizar. El hidrogeno se podrá mezclar con el gas. En el punto de recepción deberá existir un sistema para separar el gas del hidrógeno.



Figura 29 Gaseoducto de hidrógeno. Fuente, (59)

- Pequeñas cantidades o de manera puntual se hace con botellas o tanques de pequeño tamaño.



Figura 30 Depósitos tipo I de hidrógeno comprimido. Fuente, (62)

- Por carretera, por medio de tube trailers, son trailers con recipientes cilíndricos. Transportan a una presión entre 200-600 bar. y entre 60-460 Kg de hidrógeno.



Figura 31 Camión de transporte de hidrógeno gaseoso a alta presión. Fuente, (63)

- Transporte de hidrógeno líquido: Este hidrógeno se puede transportar por carretera, dentro de tanques entre 48000 y 52000 litros que llevan los trailers; ferrocarril, se usan tanques Dewar de una capacidad de 10000 litros; o mar, se usan tanques de Dewar con capacidad de un millón de litros. También se puede transportar por gasoductos. La tubería a utilizar dependerá de la distancia y del presupuesto de la instalación. Para las cortas distancias.(48)



Figura 32 Buque gasero transportando hidrógeno. Fuente, (64)

Capítulo 4. Motor otto cuatro tiempos

Los motores de combustión interna se les llama de esta manera porque la energía mecánica que generan es debido a una combustión que se genera en las cámaras internas de la máquina. La combinación de combustible, oxígeno y una fuente de ignición obliga al pistón a realizar un movimiento descendente que proporciona energía mecánica a la maquinaria que esté acoplada al motor.

4.1. Partes de un motor

Para poder entender las explicaciones venideras del funcionamiento de los motores de 4 tiempos se deben explicar las partes del motor.

El cilindro: Componente dentro del cual se mueve el pistón con un movimiento lineal alternativo.

La culata: Forma la parte superior del cilindro. En el momento que el pistón sube deja un espacio entre el pistón y la culata, este espacio se denomina cámara de combustión.

El pistón: También conocido como émbolo, es una pieza que se mueve de forma alternativa que comprime el fluido que hay en el cilindro.

La biela y el cigüeñal: Representan un sistema mecánico que transforma el movimiento lineal alternativo del pistón en alternativo. Para minimizar el rozamiento gira sobre los cojinetes de bancada.

Válvulas y conductos de admisión: Son los conductos y válvulas que permiten la entrada de aire y combustible. Las válvulas en nuestro motor están accionadas por balancines.

Válvulas y conductos de escape: Son los conductos y válvulas que permiten la salida de los gases de escape una vez ya se ha realizado la combustión. Las válvulas en nuestro motor están accionadas por balancines.

Bujía: Elemento que gracias a una corriente eléctrica muy baja es capaz de generar un arco eléctrico muy potente para encender la mezcla de combustible. (49–51)

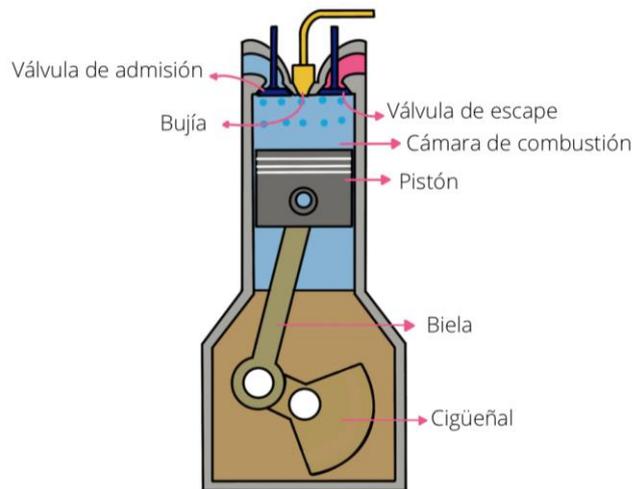


Figura 33 Partes esenciales de un motor cuatro tiempos. Fuente, (47)

4.2. Aplicaciones de motores 4 tiempos a la industria naval

Los motores de cuatro tiempos en la industria naval se utilizan en toda la gama de potencias, desde las bajas cilindradas que ofrecen 3-6 CV hasta los motores más grandes utilizados por buques mercantes que necesitan 28000 CV, un ejemplo de este tipo de motores es el MAN 20V45/60.

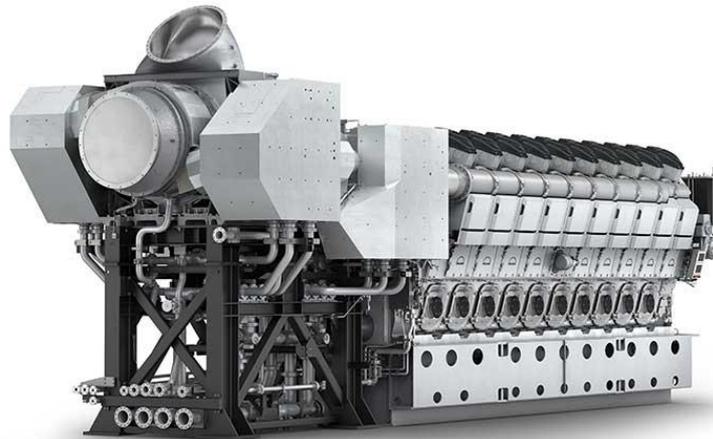


Figura 34 Motor MAN 20V45/60. Fuente,(65)

Ya que la gama de potencias es muy amplia nos centraremos en la gama más baja de potencias, y más concretamente en los motores fueraborda. Esta reducción del espectro se realiza ya que el

motor que se ha escogido para la parte práctica del trabajo se asemeja más a los motores fueraborda de baja potencia que a cualquier otro tipo de motor.

4.2.1. Motores fueraborda

Los motores fueraborda son los motores que se asemejan más al motor que se ha escogido en este proyecto. Estos son los motores de explosión que se instalan en una embarcación, pero en la parte posterior, es decir el motor no está en el interior de la embarcación. Este tipo de motores funcionan gracias a la combinación de dos elementos básicamente: El primero es una cámara de combustión interna (cilindro, pistón, bulón, biela ...) y el segundo es un sistema de engranajes que conforman la caja de cambios. Su función es la regulación de giro de la hélice. La orientación de la hélice se regula mediante un sistema de dirección que puede ser manual, hidráulico o eléctrico. Lo más común hoy en día, es que para embarcaciones de baja potencia los motores usan la dirección manual, las embarcaciones de potencia media usan sistemas eléctricos y las grandes embarcaciones necesitan una dirección con base hidráulica debido al gran peso de los motores. Gracias a su diseño permite a la embarcación la impulsión y la dirección al mismo tiempo. (52–54)

La adaptación de los motores de explosión para crear los motores fueraborda se remonta a finales de la década de 1870. El inventor de este tipo de adaptación fue el señor Gustave Trouve. El señor Trouve era un ingeniero eléctrico francés nacido en el siglo XIX, su adaptación se patentó en el 1880 pero no fue hasta el principio del siglo XX que una empresa decidió lanzar a la venta un motor fueraborda, esta compañía es Waterman. El motor que produjeron fue un motor de dos tiempos, llamado Porto Motor. (52–54)

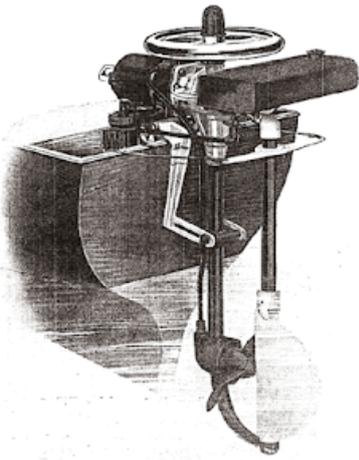
The New Model
for 1914.

The Result of Eight Years of Experience in Building Detachable Engines. The Waterman Outboard or Porto Motor was the First Detachable Motor ever placed on the market.

This New Engine shows that the Waterman Design is still in the Lead. It is still the only Detachable Motor on the Market which has kept pace with the times.

They have also "kept the pace" in other ways! We have yet to learn of a race for rowboat motors during the season of 1913 where a C-14 motor was entered and did not win. In one race there were 2 of our engines and 5 of another make, and our customers took 1st and 2nd prizes. In another race (5 miles) one of our customers was entered with a C-14 on a 15 foot cedar rowboat. The other entries were a 2 1-2 Hp. canoe, a 6 Hp. launch, and another 15 ft. cedar rowboat with 2—motors hung on its stern as twin screw. THE C-14 WON THE RACE BY

WATERMAN



3 1-2 MINUTES. The twin screw outfit came in second with the two inboard outfits third and fourth. This speaks for itself! We underrate the power of our engines where others overrate.

Automatic Float Feed Carburetor Always in the Standard Equipment—Especially Designed by the Byrne-Kingston Co.

Equipped with High Tension Magneto (New Waterproof Model) when desired.

If you wish to see what manufacturers specify these makes of carburetor and magneto, you must look among the high grade automobile manufacturers—they have had to keep up with progress.

This Model C-14 Porto Motor has—
Spun Copper Water Jacket,
Bronze Gear Pump,
Copper Water Piping,
Protected Propeller,
Underwater Exhaust,
Balanced Rudder,
Long Stroke Motor, and
The Waterman Balanced Suspension—Clamps Hinged on the Cylinder—at the Center of Gravity.

OUTBOARD OR PORTO MOTOR

Figura 35 Motor fueraborda Waterman Porto. Publicidad de 1914. Fuente, (52)

El problema de las primeras producciones de motores fueraborda es que eran deficientes, sus vibraciones dañaban al motor, su rendimiento no era muy alto y tenían una potencia muy reducida; la mayoría no superaban los 3 caballos de potencia. Este problema se solucionó en el 1920 cuando las empresas como Elto y Atwater Lockwood produjeron motores diseñados para entregar altas potencias.(52–54)



Figura 36 Motor fueraborda ELTO 1921. Fuente,(52)

Actualmente los motores fueraborda han evolucionado muchísimo y estos últimos años las empresas se han centrado en la reducción de contaminación tanto acústica como medioambiental provocada por los gases de escape. Estos factores necesitan ser constantemente actualizados y mejorados, ya que las regulaciones medioambientales cada día son más estrictas y las emisiones deben ser reducidas atendiendo a las normativas vigentes y venideras.(52–54)

Este problema, los fabricantes lo afrontan por 2 vías.

Ampliando la gama de motores de 4 tiempos; este tipo es más efectivo, más limpio, pero ofrece menos potencia.

Mejorando las mecánicas de los motores de 2 tiempos.



Figura 37 Motor Honda de cuatro tiempos y 50 HP. Publicidad Honda. Fuente,(52)

Los motores fueraborda están pensados para ser la propulsión de embarcaciones de hasta 7 metros, teniendo en cuenta las mejoras en los últimos años sería posible y sostenible motorizar una embarcación de hasta 12 metros. Este tipo de motores son adaptables a todo tipo de embarcaciones como, por ejemplo: cascos abiertos, neumáticas, lanchas, barcos de pesca, tenders¹⁵...

Aparte, su versatilidad se amplía hasta el agua donde navega ya que puede funcionar tanto en agua salada como agua dulce, lo único que se debe hacer es adaptar la potencia del motor a las demandas de potencia de la embarcación, estas dependen de las formas y el peso de la embarcación y también de la velocidad a la que se quiera navegar. (52–54)

Motor HP	Longitud del barco (metros)
2-10 hp	Hasta 3,5 metros
5-15 hp	Hasta 4,2 metros
9-20 hp	Hasta 4,5 metros
20-40 hp	Hasta 5 metros
40-75 hp	Hasta 5,5 metros

Tabla 1 Tabla que relaciona HP con la eslora. Fuente, (52)

¹⁵ Es un barco de Trabajo para llevar a los invitados, cocineros y tripulants desde el puerto hasta el yate.

90-140 hp	Hasta 6 metros
-----------	----------------

4.3. Funcionamiento Ciclo Otto cuatro tiempos

4.3.1. Tiempos del ciclo Otto ideal de cuatro tiempos

Los motores de cuatro tiempos requieren de cuatro fases para su funcionamiento en régimen ideal, esto significa que se aleja un poco de la realidad.

- Admisión
- Compresión
- Explosión
- Escape

Para la explicación del ciclo debemos establecer un pequeño vocabulario técnico.

- Punto muerto superior (PMS): Es el punto donde la distancia entre la cabeza del pistón y la culata es mínima.
- Punto muerto inferior (PMI): Es el punto donde la distancia entre la cabeza del pistón y la culata es máxima.
- Carrera: Es la distancia del PMS al PMI.

Primer Tiempo “Aspiración”

Este primer tiempo empieza con el pistón en el punto más alto (PMS), durante la carrera del pistón hacia abajo la válvula de admisión se abre y permite la entrada de mezcla de aire y gasolina a presión constante a medida que el pistón baja. (50,51,55)

Segundo Tiempo “Compresión”

Este segundo tiempo empieza en el momento en el que pistón está llegando al PMI, la válvula de admisión se cierra impidiendo la salida o la entrada de ningún fluido. En el momento que el pistón inicia su carrera ascendente la mezcla se va reduciendo en volumen y aumenta la presión dentro de la cámara. Este proceso se realiza de forma isoentrópica, es decir que no hay intercambio de calor con el exterior. (50,51,55)

Tercer Tiempo “Combustión y Trabajo”

Este tercer tiempo empieza cuando el pistón está llegando al PMS, en ese momento la bujía actúa como fuente de ignición produciendo una chispa que combustiona la mezcla. Dicha explosión empuja el pistón hacia abajo. Este proceso se le llama expansión isoentrópica.(50,51,55)

Cuarto Tiempo “Escape”

Este cuarto y último tiempo empieza cuando el pistón ha llegado al PMI empieza su carrera ascendente y en este momento se abre la válvula de escape para dejar salir los gases procedentes de la explosión.(50,51,55)

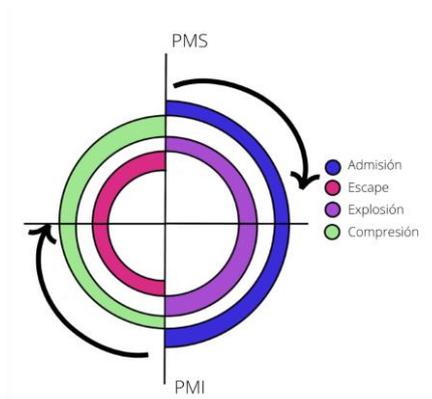


Figura 38 Diagrama de apertura y cierre de válvulas en un ciclo Otto ideal de cuatro tiempos. Fuente,(51)

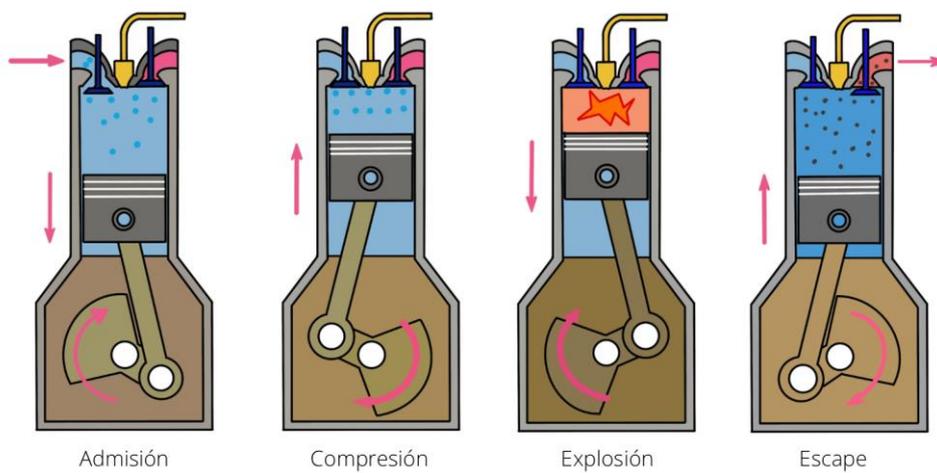


Figura 39 Tiempos de un ciclo Otto cuatro tiempos. Fuente,(51)

4.3.2. Tiempos del ciclo Otto real de cuatro tiempos

En el régimen de un ciclo real los tiempos del ciclo Otto son un poco diferentes.

Primer Tiempo "Aspiración"

Este primer tiempo real empieza durante la subida del pistón, ocho grados antes de la llegada del pistón al PMS se abre la válvula de admisión y esta se cierra veinte grados después de la llegada del pistón al PMI.(50,51,55)

Segundo Tiempo “Compresión”

Este segundo tiempo empieza en el momento que se cierra la válvula de admisión, una vez cerrada la válvula de admisión empieza la compresión con el pistón en carrera ascendente.(50,51,55)

Tercer Tiempo “Combustión y Trabajo”

Este tercer tiempo se produce siete grados antes de llegar al PMS cuando se produce la chispa que provoca la combustión.(50,51,55)

Cuarto Tiempo “Escape”

Este cuarto tiempo se produce después de la combustión donde se generan gran cantidad de gases que empujan el pistón hacia abajo, y cuarenta y dos grados antes del PMI se abre la válvula de escape y esta se cierra 5º después de la llegada del pistón al PMS evacuando así todos los gases de la cámara.(50,51,55)



Figura 41 Diagrama de apertura y cierre de válvulas en un ciclo Otto 4 tiempos real. Fuente,(51)

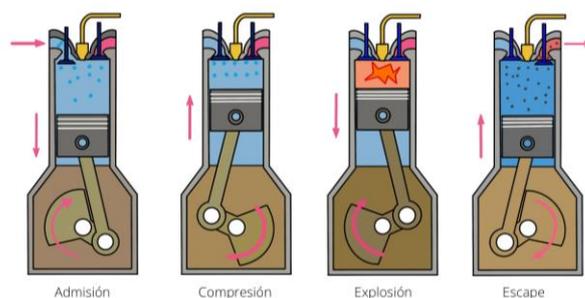


Figura 40 Tiempos de un ciclo Otto cuatro tiempos. Fuente, (51)

4.4. Cálculos termodinámicos del motor

Para poder realizar los cálculos termodinámicos deberemos tener en cuenta la nomenclatura y varias ecuaciones.

4.4.1. Nomenclatura y ecuaciones

$T_1 =$ Temperatura del aire durante la admisión (K)

$T_2 =$ Temperatura del aire después de la compresión (K)

$T_3 =$ Temperatura del aire después de la chispa (K)

$T_4 =$ Temperatura del aire después de su expansión (K)

$P_1 =$ Presión del aire durante la admisión (Kpa)

$P_2 =$ Presión del aire después de la compresión (Kpa)

$P_3 =$ Presión del aire después de la chispa (Kpa)

$P_4 =$ Presión del aire después de su expansión (Kpa)

$V_1 =$ Volumen del aire durante la admisión (m^3)

$V_2 =$ Volumen del aire después de la compresión (m^3)

$V_3 =$ Volumen del aire después de la chispa (m^3)

$V_4 =$ Volumen del aire después de su expansión (m^3)

$k =$ constante del aire

$\eta =$ rendimiento térmico ideal

Ecuación 1 Rendimiento térmico ideal

$$\eta = 1 - \frac{1}{Gc^{k-1}}$$

$W_{1-2} =$ Trabajo realizado por la compresión del pistón (KJ)

Ecuación 2 Trabajo realizado por la compresión del pistón

$$W_{1-2} = m_a * C_v * (T_2 - T_1)$$

$W_{3-4} =$ Trabajo realizado por la expansión del pistón (KJ)

Ecuación 3 Trabajo realizado por la expansión del pistón

$$W_{3-4} = m_a * C_v * (T_3 - T_4)$$

$Q_{2-3} =$ Calor aportado al cilindro por el combustible (KJ)

Ecuación 4 Calor aportado al cilindro por el combustible

$$Q_{2-3} = \eta * m_c * C_{lf} = m_a * C_v * (T_3 - T_2)$$

$$Q_{1-4} = \text{Calor cedido al exterior (KJ)}$$

Ecuación 5 Calor cedido al exterior

$$Q_{1-4} = m_a * C_v * (T_4 - T_1)$$

Ecuación 6 Grado de compresión

$$Gc = \text{Grado de compresión} = \frac{V_1 (m^3)}{V_2 (m^3)}$$

Ecuación 7 Rendimiento

$$\eta = \frac{W_{3-4} - W_{1-2}}{Q_{2-3}}$$

Ecuación 8 Masa del aire según la ley de los gases ideales

$$m_a = \text{Masa del aire según la ley de los gases ideales} = \frac{P_1 (Kpa) * V_1 (m^3)}{R \left(\frac{KJ}{Kg * K} \right) * T_1 (K)}$$

$$m_c = \text{Masa del combustible (Kg)}$$

$$m_{est} = \text{Mezcla estequiométrica} = \frac{m_a}{m_c}$$

$$C_{lf} = \text{Poder Calorífico} \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

$$C_v = \text{Calor específico a volumen constante} \left(\frac{KJ}{Kg * K} \right)$$

Ecuación 9 Compresión adiabática

$$\text{Ley de Poisson en la compresión adiabática} = P_1 * V_1^k = P_2 * V_2^k$$

Ecuación 10 Compresión adiabática

$$\text{Ley de Poisson en la compresión adiabática} = T_1 * V_1^{k-1} = T_2 * V_2^{k-1}$$

Ecuación 11 Expansión adiabática

$$\text{Ley de Poisson en la expansión adiabática} = P_3 * V_3^k = P_4 * V_4^k$$

Ecuación 12 Expansión adiabática

$$\text{Ley de Poisson en la expansión adiabática} = T_3 * V_3^{k-1} = T_4 * V_4^{k-1}$$

Datos del motor

Diámetro de cilindro	57 mm
Carrera del cilindro	48,8 mm
Volumen de trabajo	124 cm ³
Índice de compresión	9.5:1
Tipo de ignición	CDI
Tipo de arranque	Eléctrico y/o Patada
Tipo de lubricante	SAE 10w-40
Tipo de combustible	Gasolina 90
Tipo de bujía	NGK D-7EA
Batería	12V 7Ah
Tipo de filtro del aire	Filtro de papel
Tipo de válvula	SOHCA

Tabla 2 Tabla resumen de las especificaciones del motor. Fuente,(56)

4.4.2. Cálculos termodinámicos usando gasolina como combustible

En el punto uno de los diagramas tenemos que el aire está a temperatura y presión ambiente, en este caso tendremos en el punto 1 estos datos:

$$P_1 = 101,325 \text{ Kpa}$$

$$T_1 = 298 \text{ K}$$

$$V_1 = 124 \text{ cm}^3$$

A continuación, calcularemos el volumen en el punto 2 gracias al dato que nos da el manual que es el grado de compresión.

$$Gc = \frac{V_1}{V_2} = \frac{124}{V_2} = 9,5$$

$$V_2 = 13,16 \text{ cm}^3$$

El siguiente paso es aplicar la ley de poisson para encontrar la presión y la temperatura en el punto dos, es decir después de la compresión

$$P_1 * V_1^k = P_2 * V_2^k$$

$$P_2 = P_1 * (Gc)^k = 101,325 * (9,5)^{1,4}$$

$$P_2 = 2368,81 \text{ Kpa}$$

$$T_1 * V_1^{k-1} = T_2 * V_2^{k-1}$$

$$T_2 = T_1 * g_c^{k-1} = 298 * (9,5)^{0,4}$$

$$T_2 = 733,34 \text{ K}$$

Para hallar la presión temperatura del punto 3 deberemos calcular la cantidad de calor nos aporta el combustible y para ello deberemos saber la masa del aire en el cilindro y la masa de combustible en el cilindro.

$$m_a = \frac{P_1 * V_1}{R * T_1} = \frac{101,325 * 124 * 10^{-6}}{0,287 * 298}$$

$$m_a = 1,47 * 10^{-4} \text{ Kg de aire}$$

Para calcular la masa del combustible utilizaremos el concepto de mezcla estequiométrica, que mide la cantidad de combustible por la cantidad de aire.

$$m_{est} = \frac{m_a}{m_c} = \frac{1,47 * 10^{-4}}{m_c} = 14,7$$

$$m_c = 9,9 * 10^{-6} \text{ Kg de combustible}$$

Gracias a saber la cantidad de combustible que tenemos en el cilindro podemos calcular la cantidad de calor aportado por el combustible.

$$Q_{2-3} = \eta * m_c * C_{lf} = 1 - \frac{1}{Gc^{k-1}} * m_c * C_{lf} = 1 - \frac{1}{9,5^{0,4}} * 9,9 * 10^{-6} * 43400 = 0,2535 \text{ KJ}$$

En este momento podemos usar el calor calculado para encontrar la temperatura en el punto 3.

$$Q_{2-3} = m_a * C_v * (T_3 - T_2)$$

$$T_3 = T_2 + \frac{Q_{2-3}}{m_a * C_v} = 733,34 + \frac{0,2535}{1,47 * 10^{-4} * 0,788}$$

$$T_3 = 2921,77 \text{ K}$$

$$\frac{P_3}{T_3} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$P_3 = \frac{P_2}{T_2} * T_3 = \frac{2368,81}{733,34} * 2921,77$$

$$P_3 = 9437,80 \text{ Kpa}$$

Con esta información podemos obtener la información del punto número 4. Usando la ley de poisson en la expansión adiabático.

$$P_3 * V_3^k = P_4 * V_4^k$$

$$P_4 = P_3 * G_c^{-k} = 9437,80 * 9,5^{-1,4}$$

$$P_4 = 403,7 \text{ Kpa}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4}$$

$$T_4 = \frac{T_3 * T_1}{T_2}$$

$$T_4 = 1187,3 \text{ K}$$

Conociendo todos los puntos del ciclo obtendremos toda la información que necesitemos como: Trabajo de compresión, trabajo de expansión, calor aportado al sistema y calcular los rendimientos.

Trabajo de compresión:

$$W_{1-2} = m_a * C_v * (T_2 - T_1)$$

$$W_{1-2} = 1,47 * 10^{-4} * 0,788 * (733,34 - 298)$$

$$W_{1-2} = 0,0504 \text{ KJ}$$

Calor aportado

$$Q_{2-3} = \eta * m_c * C_{lf} = 1 - \frac{1}{G_c^{k-1}} * m_c * C_{lf}$$

$$Q_{2-3} = 1 - \frac{1}{9,5^{0,4}} * 9,9 * 10^{-6} * 43400$$

$$Q_{2-3} = 0,2535 \text{ KJ}$$

Trabajo de expansión

$$W_{3-4} = m_a * C_v * (T_3 - T_4)$$

$$W_{3-4} = 1,47 * 10^{-4} * 0,788 * (2921,77 - 1187,3)$$

$$W_{3-4} = 0,2009 \text{ KJ}$$

Calor cedido

$$Q_{1-4} = m_a * C_v * (T_4 - T_1)$$

$$Q_{1-4} = 1,47 * 10^{-4} * 0,788 * (1187,3 - 298)$$

$$Q_{1-4} = 0,1030 \text{ KJ}$$

Rendimiento

$$\eta = \frac{W_{3-4} - W_{1-2}}{Q_{2-3}}$$
$$\eta = \frac{0,2009 - 0,0504}{0,2535}$$
$$\eta = 0,5937 = 59,37\%$$

4.4.3. Cálculos termodinámicos usando hidrógeno como combustible

En el punto uno de los diagramas tenemos que el aire está a temperatura y presión ambiente, en este caso tendremos en el punto 1 estos datos:

$$P_1 = 101,325 \text{ Kpa}$$

$$T_1 = 298 \text{ K}$$

$$V_1 = 124 \text{ cm}^3$$

A continuación, calcularemos el volumen en el punto 2 gracias al dato que nos da el manual que es el grado de compresión.

$$Gc = \frac{V_1}{V_2} = \frac{124}{V_2} = 9,5$$

$$V_2 = 13,16 \text{ cm}^3$$

El siguiente paso es aplicar la ley de Poisson para encontrar la presión y la temperatura en el punto dos, es decir después de la compresión

$$P_1 * V_1^k = P_2 * V_2^k$$

$$P_2 = P_1 * (Gc)^k = 101,325 * (9,5)^{1,4}$$

$$P_2 = 2368,81 \text{ Kpa}$$

$$T_1 * V_1^{k-1} = T_2 * V_2^{k-1}$$

$$T_2 = T_1 * g_c^{k-1} = 298 * (9,5)^{0,4}$$

$$T_2 = 733,34 \text{ K}$$

Para hallar la presión temperatura del punto 3 deberemos calcular la cantidad de calor nos aporta el combustible y para ello deberemos saber la masa del aire en el cilindro y la masa de combustible en el cilindro.

$$m_a = \frac{P_1 * V_1}{R * T_1} = \frac{101,325 * 124 * 10^{-6}}{0,287 * 298}$$

$$m_a = 1,47 * 10^{-4} \text{ Kg de aire}$$

Para calcular la masa del combustible utilizaremos el concepto de mezcla estequiométrica, que mide la cantidad de combustible por la cantidad de aire.

$$m_{est} = \frac{m_a}{m_c} = \frac{1,47 * 10^{-4}}{m_c} = 34,5$$

$$m_c = 4,3 * 10^{-6} \text{ Kg de combustible}$$

Gracias a saber la cantidad de combustible que tenemos en el cilindro podemos calcular la cantidad de calor aportado por el combustible.

$$Q_{2-3} = \eta * m_c * C_{lf} = 1 - \frac{1}{G_c^{k-1}} * m_c * C_{lf} = 1 - \frac{1}{9,5^{0,4}} * 4,3 * 10^{-6} * 120210 = 0,305 \text{ KJ}$$

En este momento podemos usar el calor calculado para encontrar la temperatura en el punto 3.

$$Q_{2-3} = m_a * C_v * (T_3 - T_2)$$

$$T_3 = T_2 + \frac{Q_{2-3}}{m_a * C_v} = 733,34 + \frac{0,305}{1,47 * 10^{-4} * 0,788}$$

$$T_3 = 3366,37 \text{ K}$$

$$\frac{P_3}{T_3} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$P_3 = \frac{P_2}{T_2} * T_3 = \frac{2368,81}{733,34} * 3366,37$$

$$P_3 = 10873,94 \text{ Kpa}$$

Con esta información podemos obtener la información del punto número 4. Usando la ley de poisson en la expansión adiabático.

$$P_3 * V_3^k = P_4 * V_4^k$$

$$P_4 = P_3 * G_c^{-k} = 10873,94 * 9,5^{-1,4}$$

$$P_4 = 465,13 \text{ Kpa}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4}$$
$$T_4 = \frac{T_3 * T_1}{T_2} = \frac{3366,37 * 298}{733,34}$$
$$T_4 = 1367,96 \text{ K}$$

Conociendo todos los puntos del ciclo obtendremos toda la información que necesitemos como: Trabajo de compresión, trabajo de expansión, calor aportado al sistema y calcular los rendimientos.

Trabajo de compresión:

$$W_{1-2} = m_a * C_v * (T_2 - T_1)$$
$$W_{1-2} = 1,47 * 10^{-4} * 0,788 * (733,34 - 298)$$
$$W_{1-2} = 0,0504 \text{ KJ}$$

Calor aportado

$$Q_{2-3} = \eta * m_c * C_{lf} = 1 - \frac{1}{Gc^{k-1}} * m_c * C_{lf}$$
$$Q_{2-3} = 1 - \frac{1}{9,5^{0,4}} * 4,3 * 10^{-6} * 120210$$
$$Q_{2-3} = 0,305 \text{ KJ}$$

Trabajo de expansión

$$W_{3-4} = m_a * C_v * (T_3 - T_4)$$
$$W_{3-4} = 1,47 * 10^{-4} * 0,788 * (3366,37 - 1367,96)$$
$$W_{3-4} = 0,2315 \text{ KJ}$$

Calor cedido

$$Q_{1-4} = m_a * C_v * (T_4 - T_1)$$
$$Q_{1-4} = 1,47 * 10^{-4} * 0,788 * (1367,96 - 298)$$
$$Q_{1-4} = 0,1239 \text{ KJ}$$

Rendimiento

$$\eta = \frac{W_{3-4} - W_{1-2}}{Q_{2-3}}$$
$$\eta = \frac{0,2315 - 0,0504}{0,305}$$

$$\eta = 0,5938 = 59,38\%$$

4.4.4. Comparativa entre el ciclo otto con gasolina y con hidrógeno

	Ciclo de gasolina	Ciclo de hidrógeno
Mezcla estequiométrica	14,7	34,5
Cantidad de combustible	$9,9 * 10^{-6} Kg$	$4,3 * 10^{-6} Kg$
Presión Punto 1	101,325 <i>Kpa</i>	101,325 <i>Kpa</i>
Volumen Punto 1	124 <i>cm</i> ³	124 <i>cm</i> ³
Temperatura Punto 1	298 <i>K</i>	298 <i>K</i>
Presión Punto 2	2368,81 <i>Kpa</i>	2368,81 <i>Kpa</i>
Volumen Punto 2	13,16 <i>cm</i> ³	13,16 <i>cm</i> ³
Temperatura Punto 2	733,34 <i>K</i>	733,34 <i>K</i>
Presión Punto 3	9347,80 <i>Kpa</i>	10873,94 <i>Kpa</i>
Volumen Punto 3	13,16 <i>cm</i> ³	13,16 <i>cm</i> ³
Temperatura Punto 3	2921,77 <i>K</i>	3366,37 <i>K</i>
Presión Punto 4	403,7 <i>Kpa</i>	465,13 <i>Kpa</i>
Volumen Punto 4	124 <i>cm</i> ³	124 <i>cm</i> ³
Temperatura Punto 4	1187,3 <i>K</i>	1367,96 <i>K</i>
Trabajo de compresión (1-2)	0,0504 <i>KJ</i>	0,0504 <i>KJ</i>
Calor aportado (2-3)	0,2535 <i>KJ</i>	0,305 <i>KJ</i>
Trabajo de expansión (3-4)	0,2009 <i>KJ</i>	0,2315 <i>KJ</i>
Calor cedido al exterior (4-1)	0,1030 <i>KJ</i>	0,1239 <i>KJ</i>

Tabla 3 Tabla comparativa entre los resultados según el combustible utilizado. Fuente, Autores

Diferencias

Después de realizar los cálculos podemos apreciar que hay variaciones entre los diferentes combustibles. En primer lugar, la variación de mezclas estequiométricas¹⁶ se diferencian de 19,8 puntos, (34,5-14,7). Eso se refleja en la cantidad de combustible que utilizamos, en el caso de usar gasolina tenemos $9,9 * 10^{-6}Kg$ pero si utilizamos hidrogeno el valor se reduce a $4,3 * 10^{-6}Kg$, l cantidad de hidrogeno es menos de la mitad de combustible que si utilizáramos gasolina.

La segunda diferencia se ve en las diferencias de presión y temperatura en los puntos del ciclo otto.

- En los puntos 1 y 2 no varían porque son valores del motor no interviene el combustible.
- En el punto 3 la presión y la temperatura es mayor en el caso del hidrógeno a comparación con el caso de gasolina. Eso es debido al poder calorífico, en el caso del hidrógeno es mayor que el de la gasolina, eso produce que la explosión sea más potente provocando que la temperatura y la presión aumente.
- En el punto 4 los valores también son altos, pero eso es debido a que en el punto tres ya son altos.

La tercera diferencia es el trabajo que se realiza en la expansión del pistón, si comparamos el valor numérico obtenemos un mayor trabajo utilizando hidrogeno que si utilizamos gasolina. También debemos tener en cuenta que obtenemos un mayor trabajo utilizando menos cantidad de combustible tal como hemos visto en el punto uno.

Finalmente, tenemos la cuarta diferencia. Esta es en referencia al calor cedido al exterior. Como hemos visto si utilizamos hidrógeno obtendremos temperaturas de trabajo más altas y eso quiere decir que la capacidad refrigerativa del motor debe ser mayor por tanto deberá ceder más calor al exterior.

¹⁶Combinación ideal entre aire y combustible para que la combustión se realice de forma eficiente.

Capítulo 5. Análisis y reparación del motor

El motor escogido para el proyecto es el motor de la PIONEER XF 125L-4A del 2007. Este motor ha sido cedido por la empresa "Fores Reciclatge S.L" con sede en Tortosa. Esta empresa se dedica a la gestión integral de residuos industriales.



Figura 42 Emblema de la empresa "Reciclatge Fores". Fuente,

La razón por la cual se ha elegido este motor y no uno marino es por el presupuesto y por mi facilidad de obtención. Aun sabiendo que los motores marinos y los terrestres tienen componentes diferentes, podemos usar este motor de motociclismo para realizar una simulación.

Los elementos que se deberían cambiar o añadir para que este motor sea un motor fueraborda serían:

- Recubrimiento protector de plástico para combatir el ambiente marino (cobertura).
- Sistema de sujeción a la embarcación.
- Sistema de transmisión
 - o Tren de engranajes, este es el encargado de transformar la rotación vertical del eje principal hacia la hélice, en rotación horizontal.
 - o Mecanismo de marchas, este mecanismo es similar pero no posee la posición para invertir la marcha de la embarcación, lo cual es necesario en las embarcaciones.
- Sistema de refrigeración

- Bomba de agua, esta es la encargada de refrigerar las partes internas del motor, consta de un impeler que provee la succión e la impulsión del agua a través del sistema.
- Sistema de gobierno, para el sistema de gobierno hay varias opciones dependiendo de que fuente de energía queramos utilizar, manual el timón es accionado directamente por el piloto, eléctrico; se utiliza la electricidad para orientar la pala e hidráulico se utiliza la energía hidráulica para orientar la pala. Entre la eléctrica y la hidráulica solo se diferencian en la fuerza de acción, en los motores muy pesados no se puede utilizar la electricidad debido a que requeriríamos mucha potencia para realizar la acción.

El resto de sistemas serian prácticamente lo mismo, con sistemas me refiero a:

- Sistema de combustible
 - Tanque
 - Carburador
 - Conductos
- Sistema eléctrico
 - Arranque manual y arranque eléctrico
 - Batería
 - Bobina
 - Bujía
- Sistema de potencia
 - Cilindro
 - Pistón
 - Ejes
 - Válvulas
 - Etc.

5.1. Tipo de motor

Esta motocicleta tiene un motor monocilíndrico de 4 tiempos refrigerado por aire. A continuación, se exponen algunas de sus características.

Diámetro de cilindro	57 mm
Carrera del cilindro	48,8 mm
Volumen de trabajo	124 cm ³
Índice de compresión	9.5:1

Tipo de ignición	CDI
Tipo de arranque	Eléctrico y/o Patada
Tipo de lubricante	SAE 10w-40
Tipo de combustible	Gasolina 90
Tipo de bujía	NGK D-7EA
Batería	12V 7Ah
Tipo de filtro del aire	Filtro de papel
Tipo de válvula	SOHCA

Tabla 4 Tabla resumen de las especificaciones del motor. Fuente,(56)

5.2. Estado del motor

El motor cuando se analizó externamente se vio que tenía varias capas de grasa de motor mezclada con polvo, barro y suciedad en general. También se observó que el motor tenía partes no esenciales que tenían óxido, pero no era preocupante ya que el óxido no había penetrado de forma profunda en el metal.

La zona del cilindro y la culata no presentaban ningún tipo de oxidación y/o golpe, solo había restos de barro, hojas y grasa

El método de inspección que se utilizó fue el de inspección visual, este método es un método de ensayo no destructivo que permite la detección de discontinuidades que afectan a la superficie visualmente accesible de los objetos.(57)



Figura 43 Motor antes de la restauración. Fuente, Autores

5.3. Operaciones de restauración

Las operaciones de restauración que se ha realizado al motor son tareas de mantenimiento básico. Las tareas consisten en desmontaje y limpieza del motor.

La limpieza general del motor se ha realizado según la técnica del petroleado, esta técnica consiste en limpiar con algún tipo de derivado del petróleo. En este caso se utilizó gasolina, ésta se aplicó con un pincel y después se secó cada pieza con trapos de microfibra. Se prestó mucha atención a todas las perforaciones del motor: hueco de la bujía, salidas de escape, entrada del carburador...

5.3.1. Filtro del aire

La primera parte del motor que se limpió fue el filtro del aire, para ello se desmontó la caja que lo contiene.

La caja del filtro del aire está anclada al chasis con tres tornillos de estrella del número ocho. Después de destornillar los tornillos podemos sacar la caja con facilidad. El siguiente paso fue sacar el filtro de la caja destornillando los tres tornillos philips del número seis.

La caja del filtro presentaba la típica suciedad de estar a la intemperie, pero la caja no presentaba ningún tipo de daño y ningún tipo de extrema suciedad en su interior.

El filtro como tal se inspeccionó visualmente se determinó que:

- Partículas absorbidas: El estado de suciedad del papel del filtro era aceptable ya que no presentaba una alta cantidad de suciedad.
- Integridad del filtro: La integridad del filtro estaba dañada ya que uno de los extremos del filtro estaba parcialmente roto y el plástico se estaba descomponiendo. Lo que supone un riesgo de entrada de cuerpos extraños en el carburador.



Figura 44 Filtro del aire extraído. Fuente, Autores



Figura 45 Caja del filtro del aire. Fuente, Autores

5.3.2. Carburador

La segunda parte que se desmontó fue el carburador, éste se encuentra anclado con dos vástagos con dos tuercas. Se quitaron las tuercas y el carburador se desprendió de la culata perfectamente. Para la inspección y la limpieza del carburador se tuvo que desmontar por completo, a continuación, se detallarán los pasos seguidos.

- Retirar el soporte del “starter”
- Retirar la cuba destornillando los tres tornillos del número X y su junta de joma
- Retirar la tapa superior con la aguja
- Retirar los chiles destornillándolos con un destornillador plano del número X
- Retirar el pasador del flotador y el flotador
- Retirar el tornillo del ralentí con un destornillador plano del número X

Para su limpieza también se realizó la técnica del petroleado usando gasolina y un pincel. Se prestó mucha atención a los chiles y sus cavidades. Después de su limpieza se montó el carburador siguiendo los pasos anteriores, pero en orden inverso.



Figura 46 Carburador desmontado. Fuente, Autores

El estado del carburador era buena, no presentaba rasgos de extrema suciedad o de mal funcionamiento, como mantenimiento básico se lubricaron las piezas después de la limpieza.

5.3.3. Tapa de balancines

La tercera fase del desmontaje fue extraer la tapa que protege los balancines, para su desmontaje se sacaron los tres pernos hexagonales del número diez. La tapa no presenta ni rayaduras ni presencia de óxido, y la junta de goma no presenta rasgaduras ni deterioro. Se limpió la tapa con la técnica del petroleado para la sustracción de toda la suciedad incrustada.



Figura 47 Tapa de balancines extraída. Fuente, Autores.

La tapa de balancines presentava un par de rayaduras en el interior y tres en el exterior, estas rayaduras eran de tareas de reparación previas que las habían realizado con un poco de brisquedad. Las rayaduras no presentaban ningún tipo de amenaza para el funcionamiento del motor.

5.3.4. Culata

La cuarta fase del desmontaje fue sustraer la culata para su revisión, limpieza y lubricación de los elementos. Para su desmontaje se extrajeron los cuatro pernos hexagonales del número diez que unen la culata con el cilindro, el siguiente paso fue sacar los balancines para eso tuve que retirar los tornillos hexagonales del número ocho que unen los balancines a la culata.

Todas las piezas se limpiaron con gasolina siguiendo la técnica de petroleado y se secaron con un trapo de microfibra para retirar todo el polvo. Para la lubricación de las varillas, balancines y los muelles se ha usado el mismo aceite lubricante que usa el motor.



Figura 48 Culata extraída. Fuente, Autores

La culata no presentava ningún desperfecto en su interior, en el exterior solo presentava varias rayaduras en el exterior provocadas posiblemente por tareas de mantenimiento mal realizadas o por golpes con pierdas que habían salido despedidas.

5.3.5. Cilindro

La quinta fase del desmontaje consistió en extraer el cilindro, no hizo falta sacar ningún perno, ya estaban fuera, lo hice en el apartado anterior. Después de extraer el cilindro se sacaron los balancines para su limpieza.

La limpieza tanto del cilindro como los balancines se realizó según la técnica del petroleado, es muy importante de cerciorarnos que la camisa del cilindro queda limpia y seca para aplicar el lubricante.



Figura 49 Cilindro extraído. Fuente, Autores.

El cilindro como tal no presentaba ninguna falla demasiado importante. Solo presentaba algunas rayaduras externas, la única cosa preocupante era una rayadura en la camisa del cilindro. La rayadura no la he podido reparar ni cambiar debido a mi bajo presupuesto.

5.3.6. Pistón y bulón

La sexta fase del desmontaje consistió en desmontar la cabeza del pistón y el bulón. Para ello sacamos los anillos de seguridad del bulón, después de eso se pudo sacar la cabeza del pistón sin ningún problema. Las dos piezas se limpiaron con gasolina y el bulón se engrasó con aceite para el motor.



Figura 50 Cabeza del pistón extraída. Fuente, Autores.



Figura 51 Cabeza del pistón extraída. Fuente, Autores

La cabeza del pistón tiene presencia de carbonilla y algunas rayaduras. Este pistón se puede utilizar, pero su recorrido no será de muchos ciclos de vida.

5.3.7. Cambio de bujía

Continuando con el mantenimiento previo a la puesta en marcha se comprobó el estado de la bujía, para la comprobación se utilizó un extractor de bujías y se sometió a una inspección visual. Debido a su deplorable estado se decidió que la mejor opción es la sustitución de la bujía. El tipo de bujía que he repuesto es la que se especifica en el manual, la bujía es la NGK D-7EA.



Figura 52 Bujía extraída y deteriorada. Fuente, Autores

5.3.8. Cambio de aceite

Después de todas las tareas de desmontaje se revisó el aceite del motor y la bujía. El aceite del motor al revisarlo se comprobó que estaba en muy estado y se realizó el cambio de aceite por el que recomiendan en el manual el SAE 10w-40.

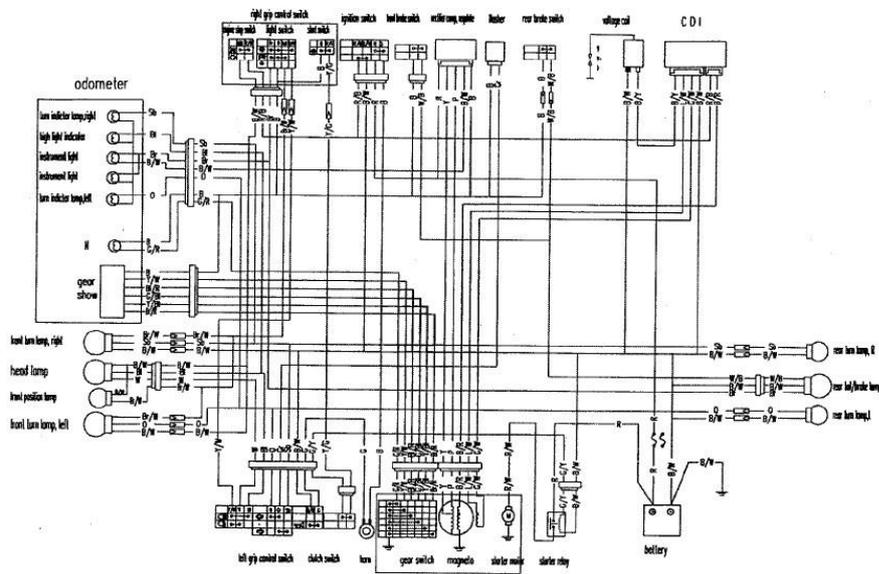


Figura 53 Aceite lubricante SAE 10w-40. Fuente, (66)

5.3.9. Circuito eléctrico

El circuito eléctrico estaba dañado ya que había varios cables rotos o que sus conexiones estaban defectuosas. Para remediar este problema se decidió remodelar el sistema eléctrico dejando el circuito básico para el arranque del motor ahora se mostrará el circuito que viene de fábrica y el circuito que se ha dejado en el motor.

Wiring Diagram



41

Figura 54 Circuito eléctrico Pioneer XF125L. Fuente, (56)

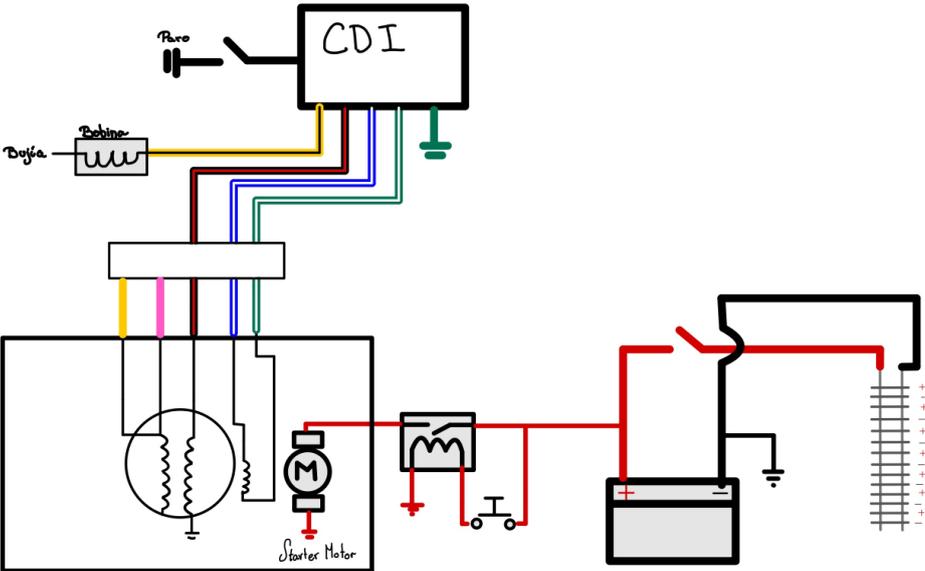


Figura 55 Circuito eléctrico básico. Fuente, Autores

Capítulo 6. Creación del generador de hidrógeno

6.1. Introducción

Como se ha comentado en la introducción de este proyecto, uno de los objetivos es realizar el diseño y construcción de un generador de hidrógeno a escala individual. La finalidad de este generador es instalarlo en un motor de combustión para reducir las emisiones tanto de CO_2 como de NO_x .

La generación de hidrogeno se puede hacer de varias formas, en este caso, se ha utilizado el método de electrólisis. Sabiendo que la electrólisis no es el método más funcional, pero para nuestro caso es la forma más sencilla y fácil. Debido a que el generador tiene un tamaño relativamente pequeño, este será alimentado directamente con la batería del motor y el alternador cargará la batería.

6.2. Diseño 3d con Rhinoceros

En primer lugar, se han diseñado los dos recipientes que contendrán el electrolito y el agua del burbujeador, deben de ser de un material resistente a las presiones. En cuanto a medidas los recipientes miden 35 centímetros de alto y 12 centímetros de diámetro.

El siguiente paso es diseñar las tapas de los recipientes los cuales tiene cierres de rosca por el exterior del recipiente, el material de esta tapa es un plástico altamente resistente. Cada tapa tiene una entrada y una salida, en el primer recipiente se debe cerrar la entrada ya que no tendremos la entrada de ningún fluido.



Figura 56 Vasos diseñados en Rhinoceros. Fuente Autores

El tercer paso ha sido diseñar las piezas que se localizan en el primer recipiente, estas son: las placas, las dos varillas, las tuercas autoblocantes y las juntas de plástico. Las placas de acero inoxidable que miden 5 centímetros por 4 centímetros y 1,2 milímetros de espesor. Las varillas son del número 9 y miden 35 cm de alto. Las tuercas son del número 10 y las juntas de plástico para aislar las placas son de tipo M6 y M8, juntamente con las arandelas de acero.

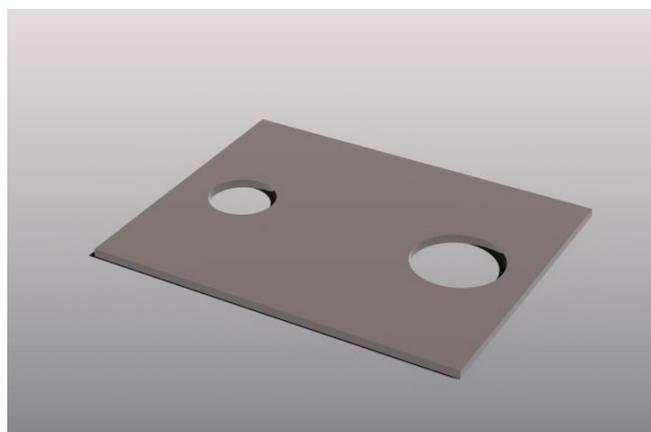


Figura 57 Placas de acero 304. Fuente, Autores

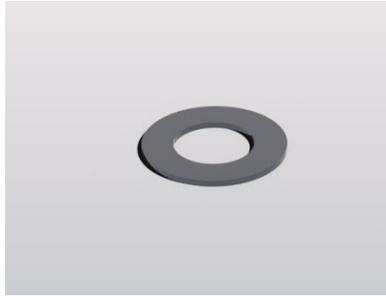


Figura 59 Arandela de acero. Fuente, Autores



Figura 58 Arandelas de Nylon. Fuente, Autores

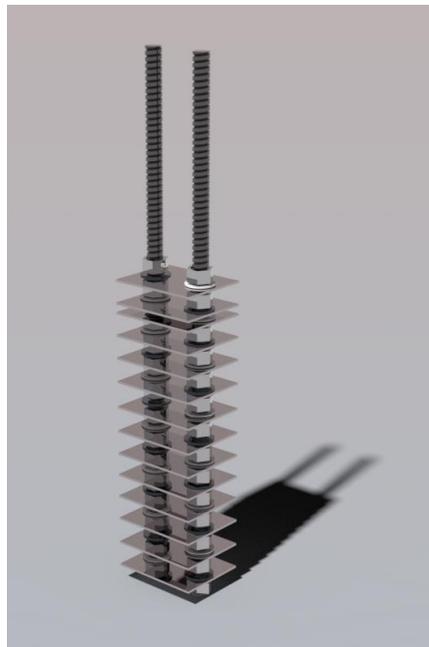


Figura 60 Celdas montadas en las varillas. Fuente, Autores

El cuarto paso ha sido modelar el tubo que conecta la entrada del segundo recipiente con el agua que habrá en el recipiente.

El último paso ha sido modelar la grifería que necesita el generador. La grifería consta de un doble macho, una tapa, un codo, y un reductor de diámetro.

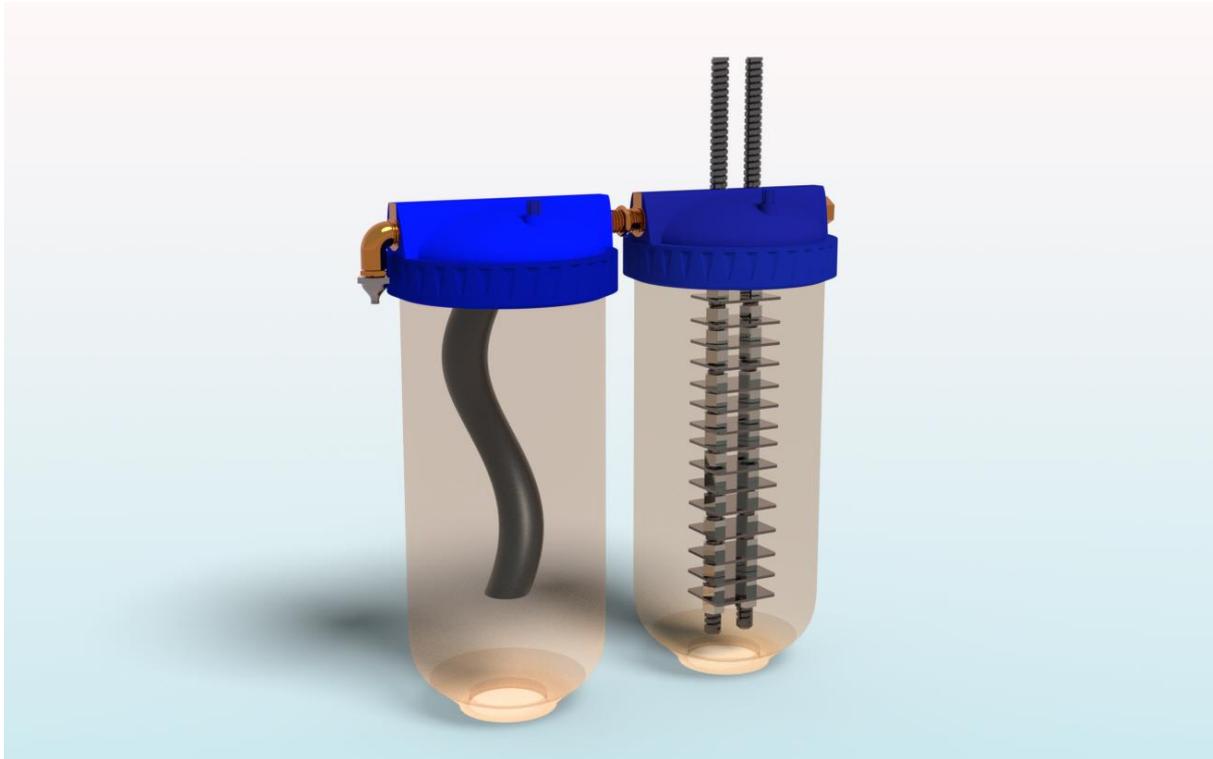


Figura 61 Generador de hidrógeno modelado en Rhinoceros 7. Fuente, Autores

6.3. Cálculos relacionados con el generador

6.3.1. Nomenclatura

x = medida horizontal de la placa (cm)

y = medida vertical de la placa (cm)

e = espesor de la placa (cm)

n = número de placas

V_p = Volumen de la placa (cm³)

V_c = Volumen de la celda (cm³)

A_p = Área de la placa (cm²)

$A_c = \text{Área de la celda}(cm^2)$

$C = \text{Conductividad del electrolito}$

$A_e = \text{Amperaje consumido por el electrolito}$

$K = \text{Constante}$

$A_{cons} = \text{Amperaje consumido por el generador}$

$PH = \text{Peso del hidrógeno}$

$P_aH = \text{Peso atómico del hidrógeno}$

$VH = \text{Volumen del hidrógeno}$

$PO = \text{Peso del Oxígeno}$

$P_aO = \text{Peso atómico del Oxígeno}$

$VO = \text{Volumen del oxígeno}$

$DO = \text{Densidad del oxígeno}$

$DH = \text{Densidad del hidrógeno}$

6.3.2. Cálculos

Dimensionamiento de las placas

$$x = 5 \text{ cm}$$

$$y = 4 \text{ cm}$$

$$e = 1,2 \text{ mm}$$

$$n = 14 \text{ placas}$$

Ecuación 13 Volumen de placa

$$V_p = x * y * e$$

$$V_p = 5 * 4 * 0,12$$

$$V_p = 2,4 \text{ cm}^3$$

Ecuación 14 Volumen de la celda

$$V_c = V_p * n$$

$$V_c = 2,4 * 14$$

$$V_c = 33,6 \text{ cm}^3$$

Ecuación 15 Área de la placa

$$A_p = x * y$$

$$A_p = 5 * 4$$

$$A_p = 20 \text{ cm}^2$$

Ecuación 16 Área de la celda

$$A_c = A_p * n$$

$$A_c = 20 * 14$$

$$A_c = 280 \text{ cm}^2$$

Ecuación 17 Conductividad del electrolito

$$C = \frac{A_e * e}{V * A_c}$$

$$C = \frac{2,01 * 0,12}{12 * 280}$$

$$C = 7,18 * 10^{-5} \frac{\text{Siemens}}{\text{cm}}$$

Ecuación 18 Cálculo de constante

$$K = \frac{A_{cons} * 60 * t}{96500}$$

$$K = \frac{15 * 60 * 1}{96500}$$

$$K = 9,326 * 10^{-3}$$

Ecuación 19 Cálculo del volumen de hidrógeno desprendido

$$PH = P_a H * K$$

$$PH = 1,00794 * 9,326 * 10^{-3}$$

$$PH = 9,4005 * 10^{-3} \text{ gramos}$$

$$VH = \frac{PH}{Dh * n}$$

$$VH = \frac{9,4005 * 10^{-3}}{8,99 * 10^{-5} * 14}$$

$$VH = 7,47 \text{ cm}^3$$

Ecuación 20 Cálculo del volumen de oxígeno desprendido

$$PO = P_a O * K$$

$$PO = 15,999 * 9,326 * 10^{-3}$$

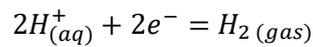
$$PO = 0,1492 \text{ gramos}$$

$$VO = \frac{PO}{Do * n}$$

$$VO = \frac{0,1492}{7,93 * 10^{-5} * 14}$$

$$VO = 134,39 \text{ cm}^3$$

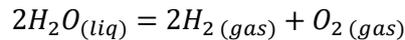
Ecuación 21 Reacción química de la reducción del cátodo



Ecuación 22 Reacción química de la oxidación del ánodo



Ecuación 23 Suma de las semirreacciones



6.4. Piezas del generador

El generador de hidrógeno es de tipo celda húmeda, los elementos que conforman el generador son:

- Filtros de agua de 6 bar
- Varillas roscadas de
- Tuercas autoblocantes de
- Arandelas de Nylon (M6 y M8)
- Placas de acero inoxidable
- Tubo de goma de diámetro 2,5 centímetros
- Tapa de latón con macho roscado de una pulgada
- Doble macho de latón de una pulgada
- Reductor de diámetro de una pulgada a ¾ pulgadas
- Codo de latón doble hembra de ¾ de pulgada
- Reductor de diámetro de ¾ de pulgada a ½ de pulgada
- Reductor de diámetro de ½ de pulgada a 0,5 centímetros
- Tubo de goma de 0,8 centímetros

Los recipientes son filtros de agua que pueden soportar 6 bar de presión, estos recipientes se usan para contener el electrolito de la celda electrolítica y el agua del burbujeador.



Figura 62 Filtro de agua. Fuente, Autores

Las placas son de acero inoxidable 304, se eligió este tipo de acero por su bajo coste, sus grandes propiedades conductivas y anticorrosivas con relación al precio y era el tipo de acero que había en stock. Las tuercas autoblocantes son del número diez y su función es limitar el final de las varillas y sujetan las varillas a la tapa del filtro. Las arandelas de nylon son del tipo M6 y M8 y su función es aislar eléctricamente las placas entre sí, las arandelas M6 van entre la varilla y la placa. También tenemos arandelas de acero para asegurar el contacto eléctrico.

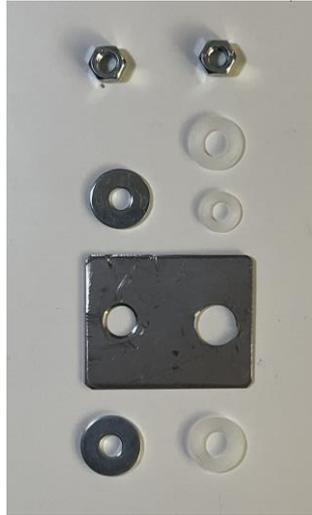


Figura 63 Placas, arandelas y tuercas utilizadas. Fuente, Autores

El tubo de goma es de diámetro 2,5 cm y su función es dirigir el hidrógeno al agua del segundo recipiente lleno de agua así evitando el retorno del gas hacia la celda electrolítica.

La tapa de latón de una pulgada sirve bloquear la entrada del recipiente que contiene el electrólito. La unión doble macho de una pulgada hecha de latón transporta el gas de la celda hasta el burbujeador. El reductor de una pulgada disminuye el diámetro $\frac{3}{4}$ de pulgada para que se pueda acoplar el codo. Este codo realiza un giro de 90° para poder acoplar el reductor de diámetro final. La última pieza es el reductor de diámetro, que conecta el diámetro anterior con un diámetro muy reducido el mismo que el del carburador. Todos los elementos de grifería se han usado juntamente con teflón para evitar fugas.



Figura 64 Piezas de latón utilizadas. Fuente, Autores

6.5. Armamento del generador

El primer paso para el montaje es el corte de las varillas, ya que partimos de una varilla de un metro. Se cortó la varilla en tres piezas, dos de ellas de 35 centímetros y la otra de 30 centímetros. Solo se usaron las varillas de 35 centímetros.

El segundo paso es bloquear una de las puntas con tuercas autoblocantes, después colocaremos una arandela de nylon en una de las varillas y una arandela de acero en la otra. El siguiente paso colocaremos la placa de la siguiente forma, el agujero grande en la varilla que hemos puesto la arandela de nylon. En la varilla que hemos usado el nylon colocaremos dos arandelas M6 y otra M8. En la otra varilla colocaremos otra arandela de acero. Para acabar este paso pondremos una tuerca en cada varilla y las apretaremos.



Figura 65 Placas montadas. Fuente, Autores

El tercer paso es repetir el segundo paso alternando la varilla donde ponemos las arandelas de nylon.

- Comprobación de aislamiento: Para comprobar que el montaje está realizado correctamente deberemos comprobar que las placas estén aisladas entre sí, para realizar esta acción utilizaremos el multímetro en la modalidad “comprovar circuito”, en este modo el multímetro envía una señal de un voltio a través de su punta positiva, si el circuito está cerrado el voltaje llega a la punta negativa y el multímetro da una señal acústica y presenta en pantalla el voltaje recibido que tendrá un rango de cero a uno. El

zero quiere decir que no hay un circuito cerrado y el uno significa que el circuito esta cerrado y sin pérdidas. La mitad de las placas deben dar zero voltios y la otra mitad deben dar un voltio.

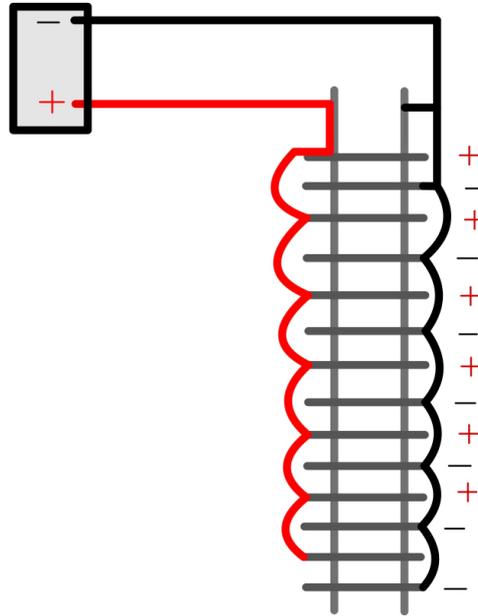


Figura 66 Esquema eléctrico de la celda. Fuente, Autores

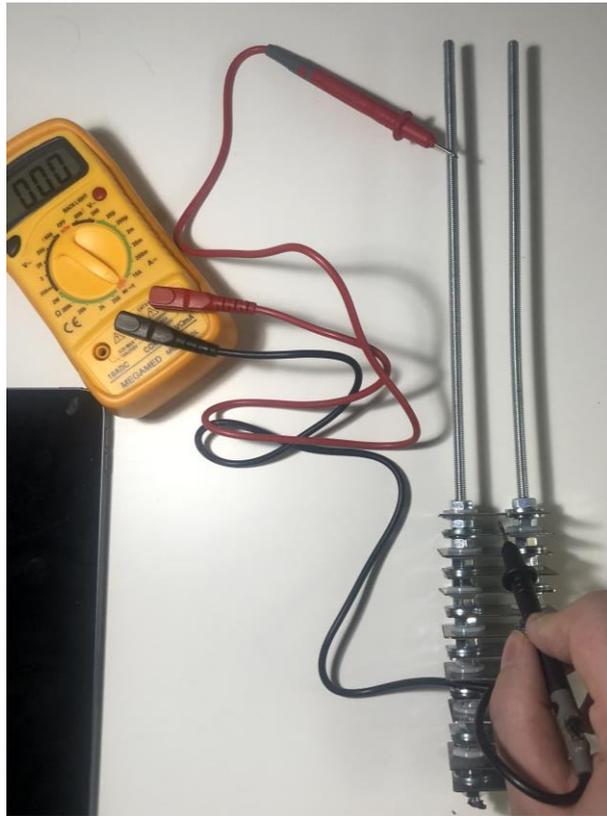


Figura 68 Comprobación de las placas, placa aislada de la varilla 1. Fuente, Autores

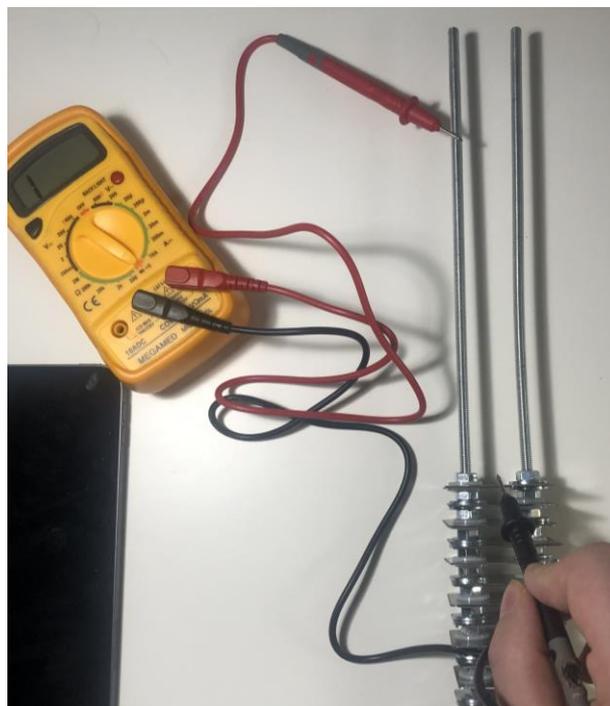


Figura 67 Comprobación de las placas, circuito cerrado entre varilla 1 y placa 1. Fuente, Autores

El cuarto paso es hacer los agujeros para poder conectar las varillas a la corriente de la batería, esos agujeros deben estar a una distancia de 3,2 centímetros.

El quinto paso es colocar todos los accesorios de latón en los recipientes, es muy importante la colocación de teflón para un sellado anti fugas.

- Tapa
- Doble macho
- Reductor de diámetro
- Codo
- Reductor

Para completar el quinto paso colocaremos los tubos que se requieren para un buen funcionamiento.

- Tubo del burbujeador
- Tubo hasta el carburador

El último paso es rellenar los filtros uno con agua e hidróxido de sodio y el otro recipiente solamente de agua.



Figura 69 Motor y generador de hidrógeno montado. Fuente, Autores

Capítulo 7. Pruebas

Para el apartado de pruebas se ha montado el generador en el chasis del motor. Para ello se ha utilizado una placa de hierro anclada al tubo en el lomar del motor. En esta placa están todos los interruptores necesarios: Pulsador de arranque del motor, interruptor de paso de corriente hacia el generador de hidrógeno y el interruptor de paro del motor. Todo ello se ha soldado con estaño a un cable de 2,5 mm². La placa está anclada gracias a cuatro pernos del número 8 con sus respectivas tuercas.



Figura 70 Elementos del circuito eléctrico. Fuente, Autores

7.1. Prueba uno

La prueba uno se realizó el 1/12/2022, para esta prueba no se había tocado los ajustes del carburador. El motor arrancó sin ningún problema, pero debido a que el hidrogeno tiene un poder calorífico mayor que la gasolina su presión y temperatura de trabajo aumenta por lo cual las revoluciones del motor eran demasiado altas.

7.2. Prueba dos

La prueba dos se realizó el 3/12/2022, para esta prueba se cambió la admisión de combustible por parte del carburador para reducir la cantidad de combustible que entra en la cámara de combustión. Esto se realizó para desahogar el motor, así se reducirían las revoluciones del motor y su funcionamiento sería más estable y controlado.

7.3. Problemas detectados

Debido a las pruebas, los análisis y la documentación obtenida y recolectada en este proyecto se puede detectar algunos problemas.

Ya que este motor en concreto esta refrigerado por aire y su funcionamiento está pensado para estar en movimiento, así aumentamos su flujo de refrigerante, se debería colocar un sistema de refrigeración líquida, como un radiador, o un sistema de refrigeración por aire forzado, ya sea un ventilador o varios ventiladores.

En el caso que quisiéramos poner a la venta un motor de este tipo se debería hacer un estudio de los materiales debido a que este motor se diseñó para soportar las presiones producidas por las explosiones de gasolina, ahora que estamos combustionando hidrogeno estas presiones aumentan y deberíamos comprobar que estas presiones pueden ser resistidas por los materiales. Después de consultarlo con varios expertos lo principal que se debería comprobar serían todas aquellas aberturas al exterior que coinciden con puntos de concentración de tensiones. Por ejemplo:

- Salidas de los tubos de escape
- Entrada del carburador
- Entrada de la bujía

Estos son los puntos que se deberían revisar en primera instancia, ya que serian los primeros que por culpa de una alta presión podrían salir disparados a modo bala.

En un segundo plano deberíamos comprobar el aceite lubricante que utilizamos ya que los aceites lubricantes se escogen en relación a la temperatura de trabajo del motor. Como el motor ya no tiene la misma temperatura máxima debido al cambio de combustible también se debería cambiar el aceite lubricante.

Para terminar, sería ideal para su comercialización que se hiciese un estudio del material del motor (culata, cilindro, ...) para determinar que presión máxima podría aguantar al igual que la temperatura.

En este proyecto no ha sido posible realizar estos estudios debido a la falta de presupuesto, medios y tiempo. Pero sería una buena opción para el trabajo de final de master o incluso como trabajo para un doctorado.



Figura 71 Motor y generador montado. Fuente, Autores

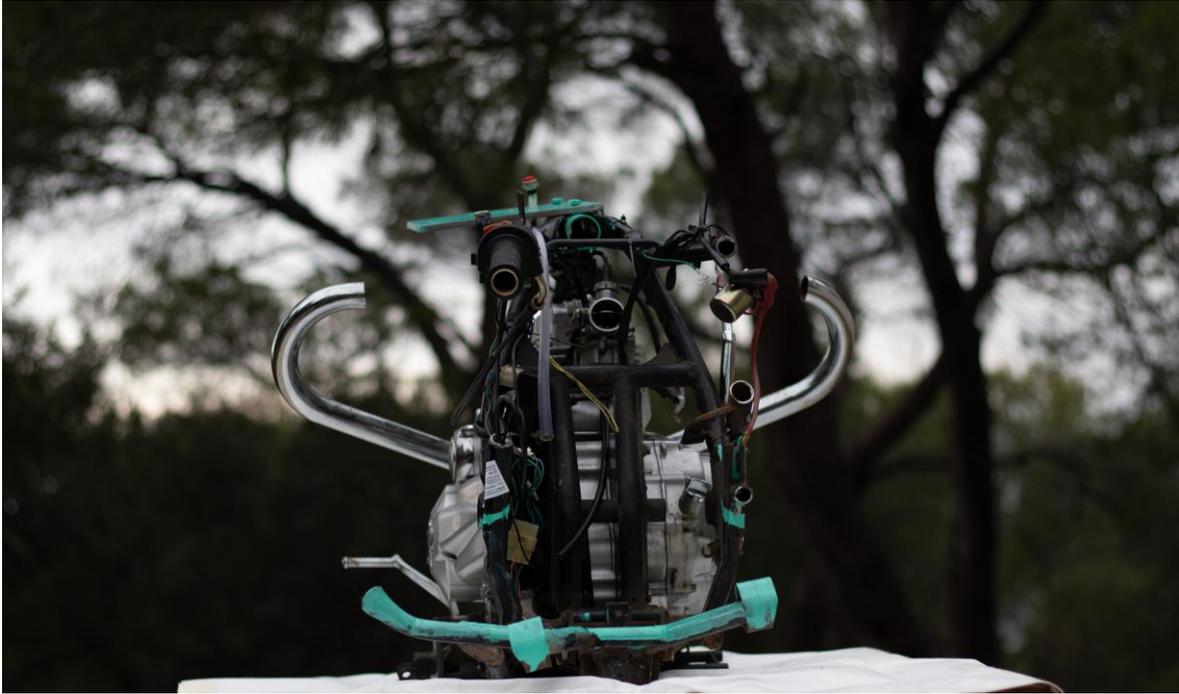


Figura 72 Motor. Fuente, Autores

Conclusiones

Como se ha presentado en el resumen, al inicio de la memoria, el trabajo ha demandado de fundamentos teóricos y prácticos presentes en varias asignaturas de la titulación. Dichos conocimientos están presentes en los capítulos del trabajo.

Aunque se había adquirido algún tipo de experiencia fuera del sector en relación a la entrega de proyectos, no ha sido hasta la entrega de este trabajo, en ser consciente de la dificultad y el estrés que pueden llegar a provocar los proyectos de esta magnitud y más teniendo en cuenta que se realizan de forma individual. Par llegar a un resultado optimo se debe destacar la capacidad organizativa y los conocimientos en una amplia variedad para poder encontrar soluciones optimas frente a los imprevistos, que no han sido pocos.

La restauración del motor se ha cumplido exitosamente, incluso con los inconvenientes que se han encontrado.

Otro de los requisitos era conseguir generar hidrogeno con el generador desarrollado, lo cual también se ha cumplido. Gracias a los procesos que han sido nombrados se ha podido conseguir el objetivo.

Finalmente, el ultimo objetivo era conseguir alimentar el motor con el hidrógeno creado, para así conseguir energía limpia en todo su esplendor. Este objetivo se ha cumplido tal como se ha visto en el trabajo.

Bibliografía y referencias

1. Holgado Secas H. Estudio, diseño y construcción de un generador de hidrógeno por electrólisis. Barcelona; 2011 mar.
2. View of Effect of using hydrogen in the power and performance of an internal combustion engine [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/113/119>
3. Alexander J, Bueno B, Tecnológica U, Pereira DE, de Ingeniería F, Pereira M. ESTUDIO DEL DESEMPEÑO DE UN MOTOR A GASOLINA OPERANDO CON EL COMBUSTIBLE PREMEZCLADO GASOLINA-HIDRÓGENO. 2014.
4. González-Cancelas N, Soler-Flores F, Orive A, Camarero-Orive A. TRANSPORTE MARÍTIMO Y MEDIO AMBIENTE: LAS IMPLICACIONES DE LAS SECAS Y LAS ECAS [Internet]. Available from: www.rtt.filo.uba.ar
5. Sáinz Casas David. Adaptación de un motor de combustión interna alternativo de gasolina para su funcionamiento con hidrógeno como combustible. 2014 nov.
6. Washington Daniel Borja Jarrín, Alexis Stalin Borja Terán, Daniel Rodrigo Castro Manrique. Potenciación de un motor a gasolina por medio de un generador de hidrógeno. Quito; 2014 ene.
7. de Lourdes M, Medina Á. Política ambiental y su impacto en la innovación tecnológica y organizativa: el reciclaje de vehículos automotores. México; 2004.
8. Frérot A. Economía circular y eficacia en el uso de los recursos: un motor de crecimiento económico para Europa [Internet]. 2014. Available from: <http://keepontrack.eu/contents/>
9. La energía en Europa: situación actual — Agencia Europea de Medio Ambiente [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2017-configuracion-del-futuro/articulos/la-energia-en-europa-situacion-actual>
10. Cánovas Sánchez B. El transporte marítimo una solución ante el cambio climático. *bie3: Boletín IEEE*, ISSN-e 2530-125X, N° 25, 2022, págs 619-642 [Internet]. 2022 [citado 2022 dic 7];(25):619-42. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8494520&info=resumen&idioma=ENG>

11. ¿Cuáles son las fuentes de energía? Definición y tipos [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://solar-energia.net/fuentes-energia>
12. ¿Qué es la energía solar? Ejemplos, tipos y definición [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar>
13. Vega de Kuyper JCarlos, Ramírez Morales Santiago. Fuentes de energía, renovables y no renovables : aplicaciones. Alfaomega; 2014.
14. Los 4 principios de termodinámica en la ingeniería industrial | Universitat Carlemany [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://www.universitatcarlemany.com/actualidad/termodinamica-leyes>
15. ¿Qué es y para qué sirve el petróleo? Combustible fósil [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://solar-energia.net/energias-no-renovables/combustibles-fosiles/petroleo>
16. Energía del carbón, ¿Para qué se utiliza y qué tipos hay? [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://solar-energia.net/energias-no-renovables/combustibles-fosiles/carbon>
17. Energía del carbón, ¿Para qué se utiliza y qué tipos hay? [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://solar-energia.net/energias-no-renovables/combustibles-fosiles/carbon>
18. ¿Qué es el gas natural? Obtención e impacto medioambiental [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://solar-energia.net/energias-no-renovables/combustibles-fosiles/gas-natural>
19. ¿Qué es la energía solar? Ejemplos, tipos y definición [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar>
20. ¿Qué es una planta fotovoltaica? Componentes de una central [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/planta-fotovoltaica>
21. Energía eólica, ¿Cómo aprovechar la energía del viento? [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://solar-energia.net/energias-renovables/energia-eolica>
22. ¿Qué es la energía hidráulica? Como funciona y ejemplos [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://solar-energia.net/energias-renovables/energia-hidraulica>
23. ¿Qué es la energía mareomotriz? La energía de las mareas [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://solar-energia.net/energias-renovables/energia-mareomotriz>
24. Energía undimotriz, la energía de las olas ¿Qué es? [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://solar-energia.net/energias-renovables/energia-undimotriz>

25. ¿Qué es la energía geotérmica? Producción y tipos [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://solar-energia.net/energias-renovables/energia-geotermica>
26. ¿Qué es la energía de la biomasa? Usos de la bioenergía [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://solar-energia.net/energias-renovables/biomasa>
27. Alcántara KS. Un poco de todo sobre el HIDRÓGENO.
28. Hidrógeno - Centro Nacional de Hidrógeno [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/>
29. ▷ Hidrógeno - Propiedades del Hidrógeno [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://elementos.org.es/hidrogeno>
30. Shriver DF, Atkins PW (Peter W, Langford CH. Química inorgánica. 1998;
31. Isótopos del hidrógeno | La Guía de Química [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://quimica.laguia2000.com/general/isotopos-del-hidrogeno>
32. Dihidrógeno [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Dihidr%C3%B3geno.html>
33. Linares Hurtado JIgnacio, Moratilla Soria BYolanda. El hidrógeno y la energía. Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI; 2007.
34. Producción de hidrógeno - Centro Nacional de Hidrógeno [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://www.cnh2.es/investigacion/produccion-de-hidrogeno/>
35. Pino Priego A. Producción de Hidrógeno.
36. Reformado - PROCESOS DE CONVERSIÓN QUÍMICA [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://1library.co/article/reformado-procesos-de-conversi%C3%B3n-qu%C3%ADmica.q2m35wry>
37. Oxidación parcial - PROCESOS DE REFORMADO [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://1library.co/article/oxidaci%C3%B3n-parcial-procesos-de-reformado.y4xk389z>
38. Qué es la electrólisis y por qué es clave en la transición verde | Diariomotor [Internet]. [citado 2022 nov 22]. Available from: <https://www.diariomotor.com/que-es/electrolisis/>
39. Fernández-Bolaños Badía C. Energética del hidrógeno. Contexto, Estado Actual y Perspectivas de Futuro. [citado 2022 nov 21]; Available from: http://europa.eu.int/comm/energy/_transport/en/cut_en.html
40. Balearia testará hidrógeno verde en su ferry eléctrico | Puente de Mando - Juan Carlos Diaz [Internet]. [citado 2022 dic 5]. Available from: <https://www.puentedemando.com/balearia-testara-hidrogeno-verde-en-su-ferry-electrico/>

41. Baleària construye el primer barco eléctrico de 0 emisiones en las estancias y aproximaciones en puerto con uso experimental de hidrógeno [Internet]. [citado 2022 dic 5]. Available from: <https://www.balearia.com/es/sala-prensa/notas-prensa/bale%C3%A0ria-construye-el-primer-barco-el%C3%A9ctrico-de-0-emisiones-en-las-estancias-y-aproximaciones-en-puerto-con-uso-experimental-de-hidr%C3%B3geno>
42. El primer buque de hidrógeno, patrocinado por Toyota [Internet]. [citado 2022 dic 5]. Available from: <https://www.toyota.es/world-of-toyota/articulos-news-events/2018/primer-buque-hidrogeno-mundo-patrocinado-toyota>
43. Así es el Energy Observer 2, el buque impulsado por hidrógeno y aire que revolucionará el transporte marítimo [Internet]. [citado 2022 dic 5]. Available from: <https://www.20minutos.es/noticia/4954835/0/energy-observer-2-el-buque-impulsado-por-hidrogeno-y-aire-que-pretende-revolucionar-el-transporte-maritimo/>
44. Energy Observer 2, el buque de carga de hidrógeno que puede autoabastecerse - Navegación sostenible - Híbridos y Eléctricos | Coches eléctricos, híbridos enchufables [Internet]. [citado 2022 dic 5]. Available from: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/navegacion-sostenible/energy-observer-2-buque-carga-hidrogeno-que-puede-autoabastecerse/20220222175126054833.html>
45. El Hidrogeno en el Mercado Naval - Ingeniero Marino [Internet]. [citado 2022 dic 5]. Available from: <https://ingenieromarino.com/hidrogeno-mercado-naval/>
46. González García-Conde A. Producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno.
47. Esteban Castro Páez Universidad Los Andes Facultad De Ingeniería C de. PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO. 2004;
48. Transporte Hidrógeno - Infraestructuras Energéticas - Enagás [Internet]. [citado 2022 nov 21]. Available from: <https://www.enagas.es/es/transicion-energetica/red-gasista/infraestructuras-energeticas/transporte-hidrogeno/>
49. Partes y piezas fundamentales del motor de una moto [Internet]. [citado 2022 nov 22]. Available from: <https://club.autodoc.es/magazin/partes-y-piezas-fundamentales-del-motor-de-una-moto>
50. Elementos I, Clasificación C, Melgar A, Página B, Constructivos E, Los DE, et al. MOTORES TÉRMICOS Motores de Combustión Interna Alternativos INTRODUCCIÓN A LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVOS INTRODUCCIÓN A LOS MOTORES TÉRMICOS MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.
51. Dante Giacosa. MOTORES ENDOTERMICOS.
52. MOTORES FUERABORDA [Internet]. [citado 2022 nov 23]. Available from: <https://tecnologia-maritima.blogspot.com/2012/04/motores-fueraborda.html>

53. Todo lo que necesitas saber sobre los motores fueraborda | Náutica y Deportes Tenerife [Internet]. [citado 2022 nov 23]. Available from: <https://www.nauticaydeportes.com/sabias-que/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-los-motores-fueraborda/>
54. La Historia del Motor de Lancha - Bardahl [Internet]. [citado 2022 nov 23]. Available from: <https://www.bardahl.com.mx/historia-motor-lancha/>
55. El ciclo Otto: motores de dos y cuatro tiempos [Internet]. [citado 2022 nov 23]. Available from: <https://www.motor.es/que-es/ciclo-otto>
56. (PDF) Pioneer XF125L-4B Owners Manual - DOKUMEN.TIPS [Internet]. [citado 2022 nov 23]. Available from: <https://dokumen.tips/documents/pioneer-xf125l-4b-owners-manual.html?page=1>
57. Inspección Visual (VT) - ipunto ensayos [Internet]. [citado 2022 nov 28]. Available from: <https://ipend.es/ensayos-no-destructivos/inspeccion-visual-vt>
58. Química i - Google Libros [Internet]. [citado 2022 nov 22]. Available from: https://books.google.es/books?id=mjvKG4BJ0xwC&pg=PA103&dq=is%C3%B3topos&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=is%C3%B3topos&f=false
59. Bockris JOM. A hydrogen economy. Science (1979) [Internet]. 1972 [citado 2022 nov 22];176(4041):1323. Available from: <http://theconversation.com/tiene-sentido-el-gasoducto-barcelona-marsella-para-transportar-hidrogeno-194754>
60. Mitsubishi Power recibe el pedido de la primera pila de combustible de óxido sólido en Europa - World Energy Trade [Internet]. [citado 2022 dic 1]. Available from: <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/gas/mitsubishi-power-recibe-el-pedido-de-la-primera-pila-de-combustible-de-oxido-solido-en-europa>
61. COHETES - Ciencia espacial - EL HOMBRE Y EL COSMOS [Internet]. [citado 2022 dic 1]. Available from: <https://sites.google.com/site/elhombreyelcosmos/cohetes---ciencia-espacial>
62. Durbin DJ, Malardier-Jugroot C. Review of hydrogen storage techniques for on board vehicle applications. Int J Hydrogen Energy. 2013 nov 13;38(34):14595-617.
63. Transporte, Almacenamiento y Distribución del Hidrógeno Verde | iKN Spain [Internet]. [citado 2022 nov 22]. Available from: <https://ikn.es/producto/transporte-almacenamiento-distribucion-hidrogeno-verde/>
64. Este carguero puede transportar hidrógeno para 400.000 coches con pila de combustible - Actualidad - Híbridos y Eléctricos | Coches eléctricos, híbridos enchufables [Internet]. [citado 2022 dic 1]. Available from: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/carguero-puede-transportar-hidrogeno-400000-coches-pila-combustible/20220505121212057528.html>

65. MAN presenta el motor de cuatro tiempos más potente del mundo | FuturEnergy: Revista técnica de energía [Internet]. [citado 2022 nov 23]. Available from: <https://futureenergyweb.es/man-presenta-el-motor-de-cuatro-tiempos-mas-potente-del-mundo/>
66. MOTUL TRANSOIL EXPERT 10W40 1L [Internet]. [citado 2022 nov 23]. Available from: https://calleja.es/lubricantes/4818-transoil-expert-10w40-1l-3374650005126.html?gclid=CjwKCAiApvebBhAvEiwAe7mHSPI_QGY75fPdscvHzWWTm7s1rX57XnxetUZyA-Sz9Dq4K3xHBE43-hoCOhcQAvD_BwE