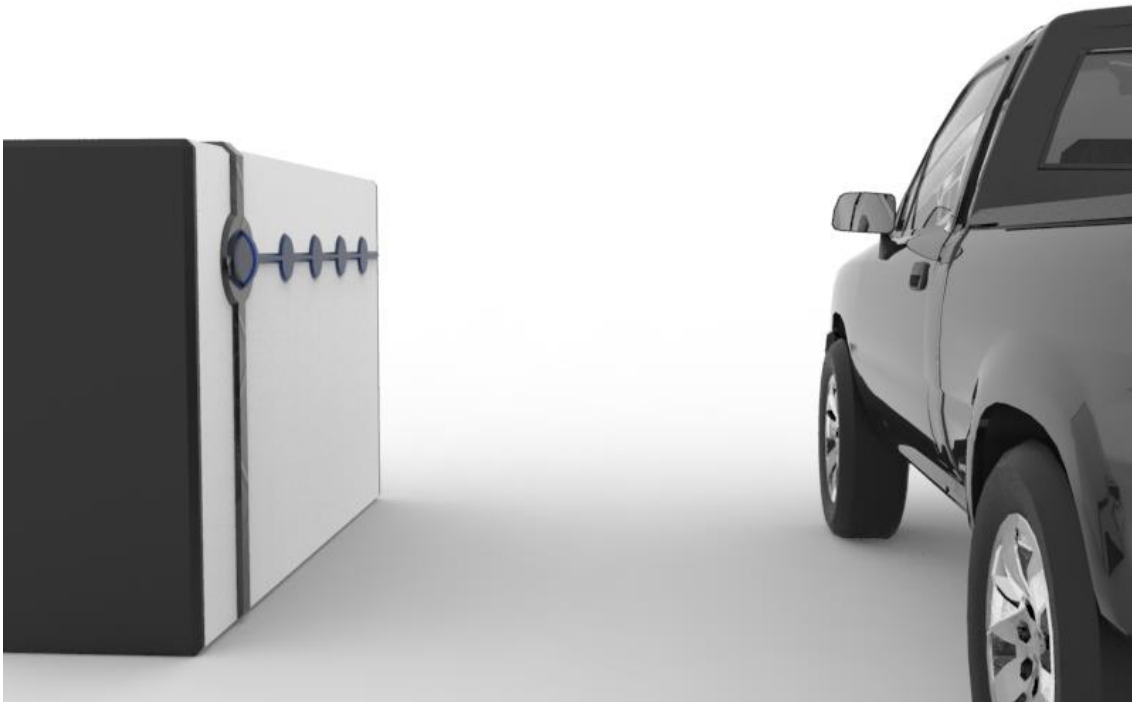




Universidad de Valladolid



Trabajo Fin de Grado Id: 729

Sistema para aprovechamiento de energía eólica a baja escala y su acumulación en forma de hidrógeno

Salazar Lozano, Mariano José

2015/2016



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

**Grado en Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo de
Producto**

**Sistema para aprovechamiento de la energía
eólica a baja escala y su acumulación en
forma de hidrógeno**

Autor:

Salazar Lozano, Mariano José

Tutor:

**Lafuente Sánchez, Víctor Antonio
Departamento de Urbanismo y
Representación de la Arquitectura**

Valladolid, julio 2016.

ÍNDICE

1- INTRODUCCIÓN	3
1.1- Resumen	3
1.2- Palabras clave	3
1.3- Objetivos	3
1.4- Plan de trabajo	4
2- CONTEXTO	5
2.1- Energía global	5
2.2- Energía eólica	7
- Evolución histórica	7
- Actividad del viento	12
- Tipos de aerogeneradores	14
- Principales fabricantes de aerogeneradores	16
- Ventajas e inconvenientes de los parques eólicos	17
- Ventajas e inconvenientes de los aerogeneradores a baja escala	17
- Conclusión del apartado	18
2.3- Hidrógeno	18
- Vector energético	18
- Producción	20
- Almacenamiento	21
- Utilización	22
- Riegos y seguridad	23
- Proyectos existentes y apoyo gubernamental	24
3- PROPUESTA	27
3.1- Aprovechamiento eólico a baja escala	27
- Componentes	28
- Estimación de demanda energética	31
- Mantenimiento	32
3.2- Optimización de la ubicación	32
- Dispositivo para validar la ubicación	32
3.3- Evaluación de viabilidad técnica	33

3.4-	Implementación	33
3.5-	Imagen y marca	34
3.6-	Impacto ambiental	35
	- Rueda de Lids	36
	- Ciclo de cero emisiones	37
3.7-	Análisis DAFO	37
3.8-	Viabilidad económica	38
3.9-	Renders de producto	39
4-	CONCLUSIONES	45
4.1-	Impulso socioeconómico	45
4.2-	Valoración final	45
5-	BIBLIOGRAFÍA	49
6-	ANEXOS	51
6.1-	Leyes de la termodinámica	51
6.2-	Límite de Benz	51
6.3-	Propiedades del hidrógeno	53

1- INTRODUCCIÓN

1.1- RESUMEN

Es necesario un cambio en el sistema energético mundial para abandonar la actual dependencia de los combustibles fósiles. Un primer paso puede realizarse en el sector del transporte, principal fuente de contaminación atmosférica en las ciudades.

“Blue hydrogen” es un sistema para conseguir ese ciclo de cero emisiones en el transporte y la independencia energética. Se basa en obtener hidrógeno a partir de energía renovable (como la eólica o la solar) mediante electrólisis en el lugar donde se requiere dicha energía. El hidrógeno es almacenado y posteriormente utilizado en un vehículo eléctrico con pila de combustible.

Todo ello se realiza gracias a la hidrogenera, un elemento compacto, sencillo de usar y estéticamente atractivo.

1.2- PALABRAS CLAVE

Hidrógeno

Eólico

Electrólisis

Vehículo

Sostenible

1.3- OBJETIVOS

Se pretenden cumplir tres objetivos principales a lo largo de este trabajo:

- 1- Impulsar el aprovechamiento de la energía eólica a baja escala mediante el estudio de los factores que la afectan.
- 2- Estudiar la viabilidad de una “economía del hidrógeno”.
- 3- Proponer un producto que posibilite el transporte por carretera a nivel usuario dentro de un ciclo de “cero emisiones”.

1.4- PLAN DE TRABAJO

La metodología empleada ha sido sencilla; partiendo de una idea inicial se ha realizado una búsqueda exhaustiva de fuentes para cerciorar que no existía ninguna solución aplicada en el mercado como la que se propone en el presente trabajo.

Una vez confirmado el carácter innovador de la idea, se ha investigado todo lo relacionado con la misma, haciendo una recopilación de aquellos factores de mayor trascendencia para el desarrollo de la idea.

A continuación, se ha procedido a explicar justificadamente la idea propuesta en su totalidad, yendo al máximo nivel de detalle posible. Finalmente se realizan estimaciones de su viabilidad técnica y el modo de implementación; acabando con una visión de conjunto y las conclusiones obtenidas a lo largo del desarrollo.



2- CONTEXTO

2.1- ENERGÍA GLOBAL

Todas las formas de energía pueden condensarse en tres: movimiento, calor y electricidad. Aunque en realidad el calor y la electricidad son movimiento de electrones; por lo que la energía puede abarcarse con el término “movimiento”. Ya el presocrático Heráclito en el Siglo V a.C. afirmó que “el devenir” es la sustancia del ser, mostrando el movimiento como base de todo.

Existen 6 tipos de energía: mecánica, potencial, química, térmica, radiante y eléctrica. Y las seis se fundamentan en el movimiento.

La energía es definida por la RAE como “la capacidad para realizar un trabajo”. El ser humano desde su origen ha requerido de la energía para sobrevivir. En un primer lugar a través de la alimentación, obteniendo energía para desplazarse, recolectar, cazar y trabajar; actividades que le reportaban a su vez energía que gastaba en obtener nueva energía.

Pero la naturaleza tiene sus límites, plasmados en este caso en las leyes de la termodinámica [Anexo 1]. Es evidente y consta por la experiencia de los sentidos que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma, de este modo todo lo que se use para crear cualquier tipo de energía tiene que obtener la energía de algo anterior.

La evolución del uso de energía avanzó del movimiento mecánico humano a la tracción animal, luego al aprovechamiento del viento; continuó con la máquina de vapor transformando calor y actualmente estamos en la cultura del combustible fósil.

El progreso técnico en estas últimas décadas ha sido tan acelerado que no hemos reflexionado sobre las consecuencias que tiene a nivel global hasta hace poco tiempo. La preocupación por el futuro energético se ha transformado en preocupación por el presente, y por ello se trata de buscar nuevos modos de mantener o mejorar el nivel de vida respetando al mismo tiempo el medio ambiente.

Jeremy Rifkin en su libro “la Tercera Revolución Industrial” plantea que el primer gran cambio se produjo con la máquina de vapor, dando lugar a la primera revolución industrial; la segunda aconteció a causa del uso de la electricidad, potenciando la producción masiva. Mientras que la tercera revolución industrial se refiere al cambio energético de cara a mejorar la eficiencia, reducir el consumo y cambiar las fuentes de energía por otras renovables, y es la que se está dando en el presente.

Hoy en día se está tomando conciencia social para paliar los efectos de la sociedad de consumo, ya sea a través del reciclado, reutilización, la preferencia por productos naturales o evitar los excesos de envase y materiales. Cobrando así la ecología un papel protagonista y decisivo de cara al futuro.

El primer punto de preocupación son las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente el CO₂; proveniente del aprovechamiento de los combustibles fósiles, que no cierran un ciclo energético, debido a su inmenso tiempo de recuperación (millones de años).

Por otro lado es un axioma no discutido que los recursos fósiles son finitos y no regenerables a la velocidad de consumo; por lo que tienen una fecha de fin. El debate reside en si es un problema de esta generación, de la siguiente o de otra, pero dejando claro que se acaban.

Sociopolíticamente se están impulsando medidas para reducir el impacto en el medio ambiente de cualquier actividad humana, mediante unos límites de emisión, legislación que regula aquellas actividades con mayor impacto y mediante el apoyo a iniciativas y proyectos que potencien la ecosostenibilidad.

Hay ciudades en las que el presente se ha impuesto, teniendo que tomar medidas de urgencia, como en China, donde el uso de mascarillas de protección por la contaminación del aire es algo corriente; o en Europa, con ciudades como Madrid, donde los niveles de contaminación en el aire superan con creces los recomendables.

La mayor contaminación ambiental en los núcleos de población procede de los combustibles utilizados en el transporte, siendo este foco el primero al que hay que hacer frente buscando un modelo de transporte más eficiente y de menor impacto ambiental.

Muchas empresas del sector del automóvil están dando un paso al frente, como Toyota, que en 2015 publicó el “Toyota Environmental Challenge 2050”, detallando su política medioambiental de futuro. Además, todas las políticas a nivel europeo se toman en serio el medio ambiente como elemento de peso en las decisiones políticas.

2.2- ENERGÍA EÓLICA

Evolución histórica:

“El viento es el aire en movimiento”, y el movimiento contiene energía. La humanidad ha aprovechado esta energía desde tiempos inmemoriales, existiendo referencias al uso de embarcaciones a vela desde el IV milenio a.C.

Aunque durante mucho tiempo se utilizó el viento para navegar, en cuanto los medios tecnológicos lo permitieron, se empleó dicha energía para otras tareas, como es el caso de los molinos del Tíbet que accionaban unos fuelles, activando un órgano musical empleado en ceremonias [Ilustración 1].

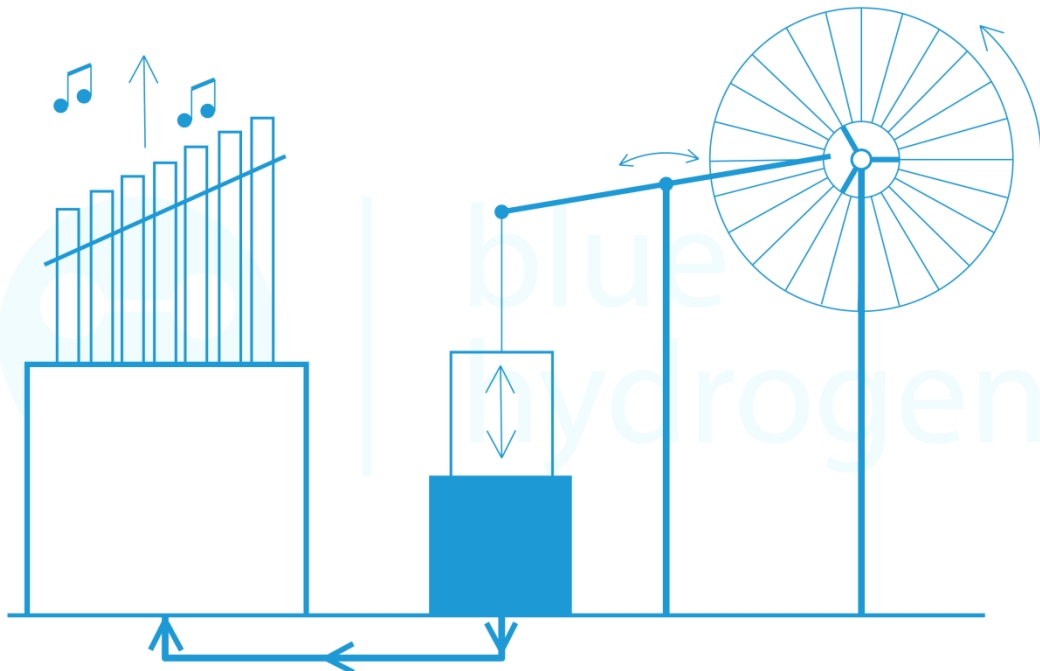


Ilustración 1 Órgano del Tíbet accionado por un molino

Herón de Alejandría (S.III a.C.) describió un molino de eje vertical para soplar un órgano. En China se utilizaban las panémonas para el bombeo de agua, construidas a partir de telas sobre un armazón de madera [Ilustración 2]. Algunos autores aseguran que fueron los babilonios los pioneros en el uso de molinos de viento para bombear agua de riego.

Hay que tener en cuenta que al poseer una mayor dificultad técnica de regulación y orientación que los molinos hidráulicos, los molinos de viento surgieron cronológicamente después que éstos.

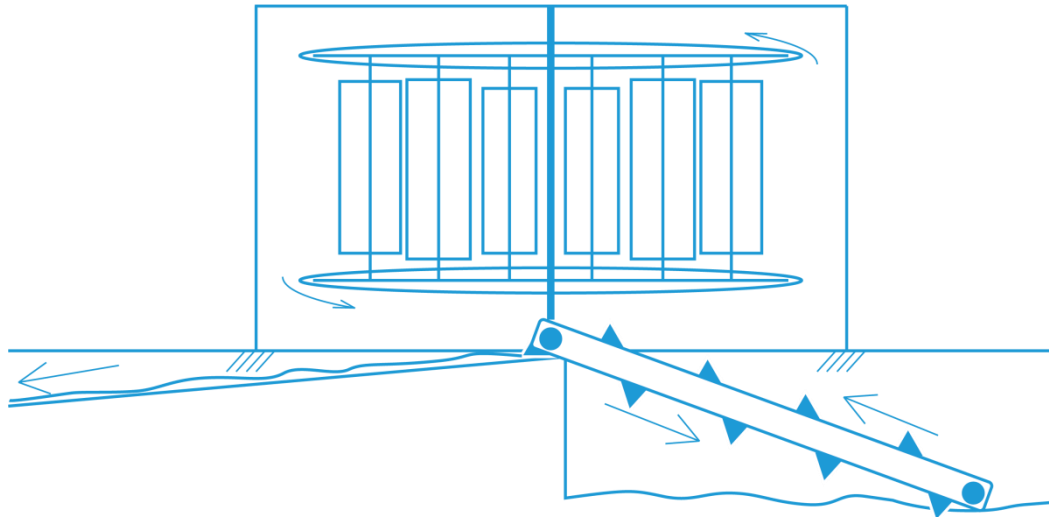


Ilustración 2 Panémona china para bombear agua

En el *Libro de ingenios mecánicos* de los hermanos “Banu Musa” (850 d.C.) encontramos la primera referencia escrita fiable de los molinos de viento, en Sijistán, antigua Persia Oriental [Ilustración 3].

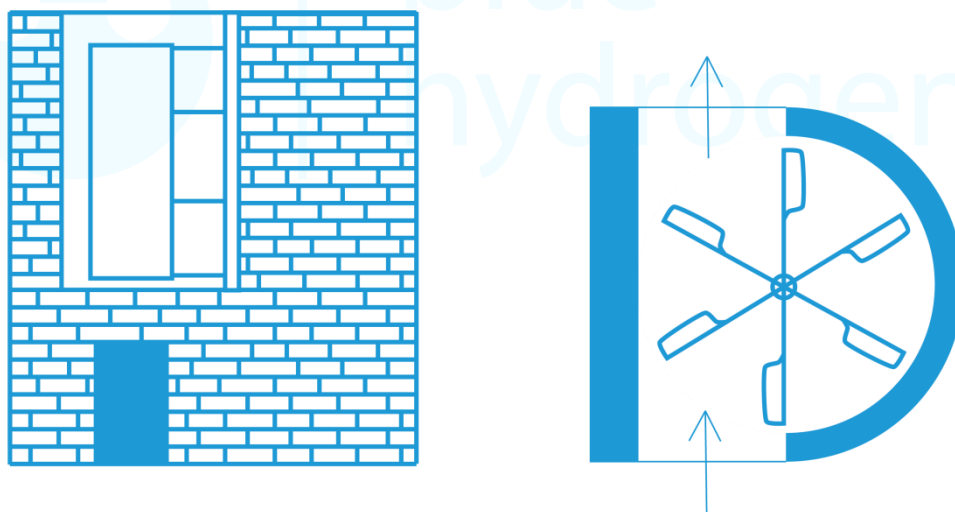


Ilustración 3 Molino persa en vista de alzado y planta

En el siglo XI-XII el desarrollo de los molinos de viento da el salto al eje horizontal para moler el grano en zonas de pocos recursos hídricos y constantes vientos. El diseño mecánico se divide en dos vertientes; la primera se extiende por la civilización islámica (molino mediterráneo) y la segunda surge en Europa (molino europeo).

El molino mediterráneo posee un rotor a vela con una cúpula donde se encuentran los engranajes, que transmitían el movimiento a un nivel inferior.

Por su parte, el molino de viento europeo llevaba un rotor de cuatro aspas, de entramado de madera recubierto de tela; con el engranaje y la muela en un mismo habitáculo. Era orientable en su conjunto para enfrentar las palas al viento.

Posteriormente estas dos corrientes de diseño confluyeron en el molino manchego [Ilustración 4], aunando los puntos fuertes de las dos variantes siendo un nexo de unión de las dos culturas.

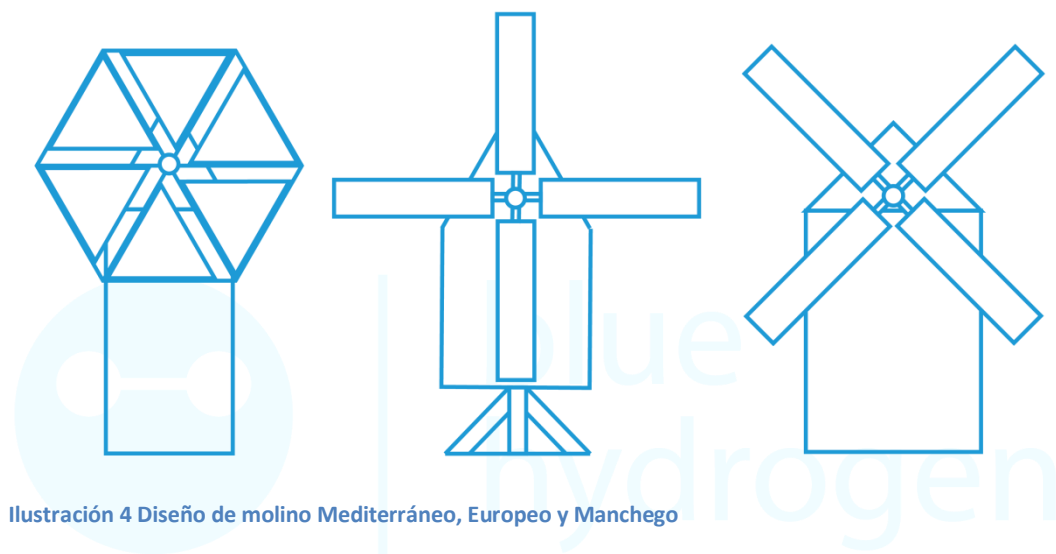


Ilustración 4 Diseño de molino Mediterráneo, Europeo y Manchego

- Molino Mediterráneo: no orientable, con triángulos de tela tensados entre listones de madera, para bombeo de agua o molienda
- Molino holandés: base de ladrillo o piedra, sobre ella se orientaba la torre de estructura de madera, planta cuadrada. Para el bombeo de agua o molienda.
- Molino manchego: torre cilíndrica de mampostería con techumbre cónica. Maquinaria en la base, orientable la parte superior y especialmente diseñado para la molienda.

Ya entre los papeles de Leonardo da Vinci (1452-1519) aparece una máquina eólica con seis velas. En Holanda se hace extensivo el uso de molinos de bombeo desde 1430 en la desecación de los pólderes, obteniendo una potencia de hasta 10 kW con 30m de diámetro.

En el siglo XVII se mejoraron los detalles de diseño y construcción, apareciendo los sistemas mecánicos de orientación y regulación. Se publican los primeros tratados teóricos sobre molinos de viento, con estudios en profundidad sobre el comportamiento aerodinámico de los rotores y sistemas de regulación.

En 1724 Leopold Jacob proyecta un molino de ocho palas que mueve una bomba de pistón, en 1854 Daniel Halladay desarrolla las primeras bombas eólicas en EEUU y finalmente en 1883 aparece el multipala americano [Ilustración 5] diseñado por Steward Perry. Este molino, de unos 3 m de diámetro, y entre 18 y 24 palas, utilizado para el bombeo, ha sido el más vendido de la historia (6 millones de unidades).

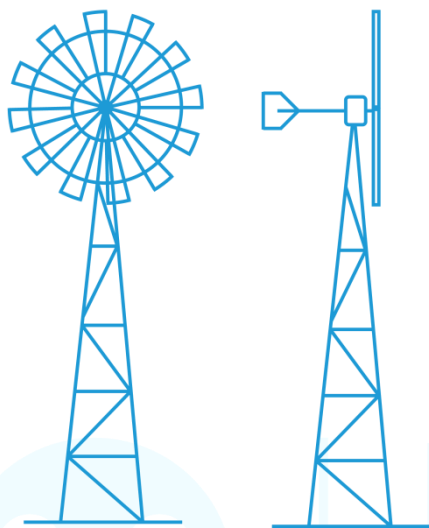


Ilustración 5 Multipala americano

Los multipala habían supuesto un nuevo concepto de turbinas eólicas, aunque su utilidad se limitaba al bombeo, por lo que la tendencia fue reconvertir los viejos molinos para generar electricidad, materializado en la aeroturbina de Lacourt (1892), que obtenía una potencia de entre 5 y 25 kW.

Por esta época el finlandés Savonius y el francés Darrieus desarrollaron sus turbinas de eje vertical (1922 y 1927 respectivamente).

Hasta el momento, las velocidades típicas obtenidas eran del mismo orden de magnitud que la del viento; en los multipala se lograron dos veces la del viento. Y gracias a la aplicación de la teoría de la aerodinámica, en el S. XX se obtuvieron velocidades en punta de pala cuatro o cinco veces superiores a la del viento incidente.

Betz demostró en el artículo “Die Windmulen im lichte neverer Forschung”, (Berlín 1927) que el rendimiento de las turbinas aumentaba con la velocidad de rotación y que en ningún sistema eólico se puede obtener más del 60% de la energía contenida en el viento [Anexo 2].

En 1965, el aerogenerador Gedser fue el primer aerogenerador construido con palas de sección aerodinámica, con una potencia de 200kW.

A pesar de la mayor eficacia de las nuevas turbinas, las dificultades de almacenamiento y las desventajas propias de la irregularidad de los vientos fueron la causa de que las aplicaciones basadas en el aprovechamiento del viento como recurso energético declinaran hasta el final de la Primera Guerra mundial.

El fácil acceso a los combustibles fósiles, principalmente el petróleo, se impuso como principal fuente de energía, haciendo que el desarrollo de

los aerogeneradores quedase en segundo plano en épocas de bonanza y se potenciara en etapas de crisis.

La primera crisis energética se produjo tras la 1ª G.M. abriéndose dos líneas de aplicación. Por un lado los aerogeneradores de baja potencia para entorno rural y por otro las grandes plantas eólicas para generar electricidad a gran escala. Pronto la facilidad para obtener combustible a bajo precio frenó el desarrollo eólico.

Una vez finalizada la 2ªG.M. los países europeos elaboraron programas nacionales para grandes plantas eólicas, habiendo un segundo impulso en los años cincuenta, hasta que pierde interés al no resultar sus precios competitivos con el petróleo, lo cual duró hasta 1973.

1973, primera gran crisis del petróleo, sirve de impulso en el campo energético tanto para la energía eólica como la solar. Se prolongó hasta 1986, momento en el cual las redes de electrificación eran suficientemente extensas como para cubrir la mayor parte de las zonas rurales.

A partir de este momento el suministro está garantizado, sufriendo únicamente cambios de precio, es por lo cual se ve favorecido el desarrollo de grandes turbinas eólicas que produzcan energía a un precio competitivo.

La tendencia de los países con tradición eólica ha sido planificar grandes parques eólicos y elaborar mapas eólicos estimando los emplazamientos más adecuados.

En la última década la preocupación por el medio ambiente ha llevado a decisiones políticas favoreciendo las energías renovables. Siendo las principales la solar y la eólica acompañadas de cerca por la hidráulica.

En el campo de la eólica se ha optado por su explotación en grandes parques eólicos, obteniendo una buena gestión de la potencia generada. No obstante, la tendencia actual es aumentar el área barrida (diámetro) del molino, complicando aún más su transporte e instalación en la ubicación óptima.

Cada kWh eólico permitiría ahorrar un kilogramo de CO₂, entre otras sustancias contaminantes. La eólica es la manera más económica de reducir las emisiones contaminantes y avanzar hacia la sostenibilidad [1].

Los molinos de viento han cumplido tres grandes funciones: bombeo de agua, molienda o generación de electricidad, resultando una alternativa muy interesante de cara al futuro y al presente energético global.

Actividad del viento:

El viento es producido por la radiación solar. Los gases de la atmósfera (aproximadamente un 21% de oxígeno, un 78% de nitrógeno y 1% de otros gases) se desplazan de las zonas de mayor presión a las de menor presión, buscando el equilibrio. De este modo, realizan un desplazamiento conocido como viento.

Si la tierra no girase, el ciclo del viento sería desde el ecuador ascendería a las capas más altas, y luego se desplazaría hacia los polos; pero al tener giro la tierra, se incluye la fuerza de Coriolis, creando un complejo sistema de corrientes de aire planetarias.

A baja escala interesa conocer cómo funcionan las corrientes de aire cerca de la superficie.

El sol calienta una superficie. Por convección la capa más próxima a dicha superficie adquiere calor, se expande y pesa menos que la capa fría que tiene encima, por lo que tiende a subir e intercambiar su lugar con la capa fría.

Este proceso queda claramente reflejado en la brisa del mar [Ilustración 6]. Por el día el sol calienta la tierra más rápido que el mar, haciendo que el aire cálido de la superficie de la tierra ascienda y ocupando su lugar el aire fresco que está sobre la superficie del mar. Sucediendo lo contrario por la noche, cuando la temperatura de la tierra baja hasta ser inferior a la del mar.

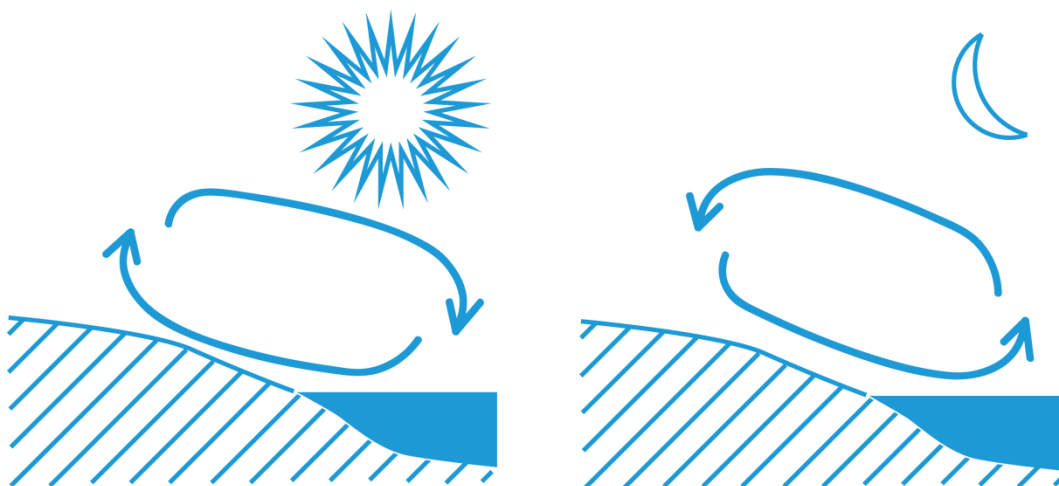
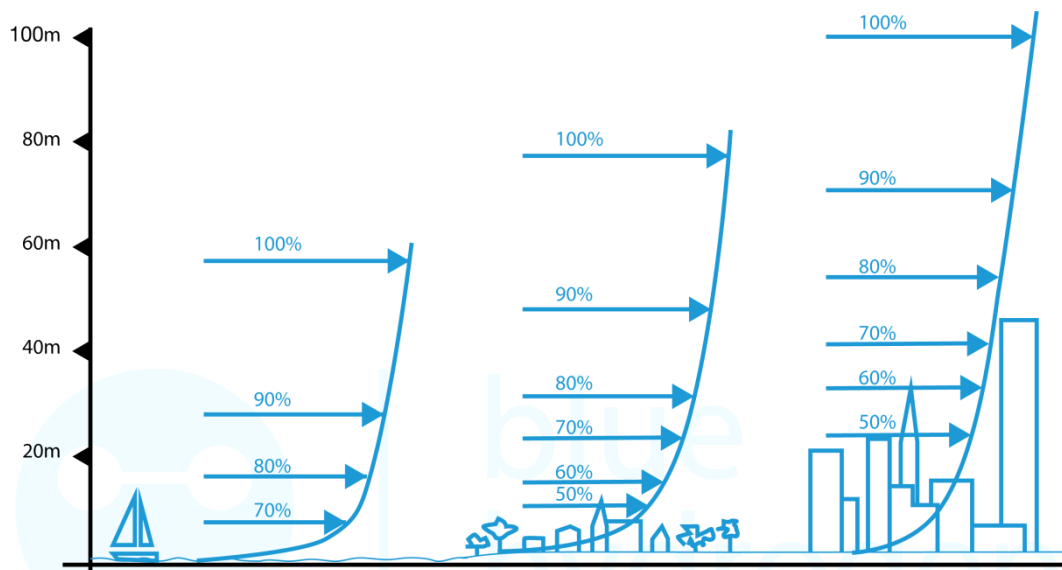


Ilustración 6 Funcionamiento de las brisas marinas

En tierra firme sucede un proceso parecido en las laderas; las cuales se calientan más que las zonas planas, creando los vientos anabáticos (ascendentes) y enfriándose más rápido por la noche, dando lugar a vientos catabáticos (descendentes).

Las características concretas del viento en una zona determinada vienen influidas por su situación geográfica, el clima local, la topografía de la zona, irregularidades del terreno [Gráfica 1] y altura sobre el nivel del suelo; siendo el estudio de estos factores lo decisivo a la hora de validar la viabilidad de una instalación eólica.



Gráfica 1 Influencia de la topografía en la velocidad del viento [4]

Los efectos de los obstáculos influyen fuertemente en la valoración de la velocidad del viento, llegando a darse casos en los que la velocidad del viento aumenta hasta un 100% cerca de una cima de una colina sinusoidal o triangular [Ilustración 7]. Esto se debe a que el viento sufre el efecto Venturi: al reducir la sección de paso, aumenta la velocidad del fluido.

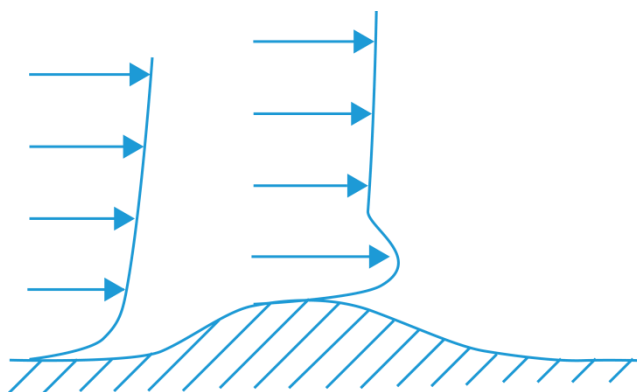


Ilustración 7 Efecto de los obstáculos en el viento

De lo anteriormente explicado se deduce que algunos emplazamientos buenos pueden ser pasos entre montañas (donde se encauce el viento), llanuras elevadas, cimas de colinas o páramos y lugares costeros.

Tipos de aerogeneradores:

Los aerogeneradores captan la energía del viento haciendo girar un rotor, del cual se extrae la potencia ya sea para bombeo, generación de electricidad u otro uso. Y el modo de clasificarlos se refiere a la orientación que tiene el rotor: vertical u horizontal, con ventajas e inconvenientes en cada uno de ellos.

Pese a que hay numerosos diseños de aerogeneradores de eje vertical, casi todos pueden resumirse en estos dos: Savonius y Darrieux [Ilustración 8]. El de Savonius es capaz de aprovechar vientos de muy poca velocidad y con muchas turbulencias; la aplicación más común de este modelo son las cazoletas de los anemómetros.

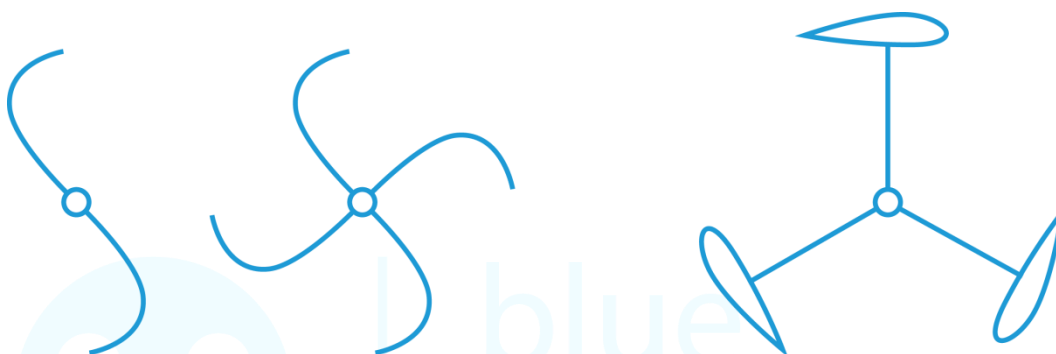


Ilustración 8 Aerogeneradores de eje vertical más comunes: Savonius y Darrieux

Por su parte el aerogenerador Darrieux aprovecha la aerodinámica, alcanzando mayores velocidades de giro en el eje, pero requiriendo de vientos considerables para entrar en acción.

Los molinos de eje horizontal [Ilustración 9] parten del modelo europeo explicado en la reseña histórica, que evolucionó al multipala; y al aplicarle la teoría aerodinámica, surge el modelo actual (principalmente tripala o bipala).

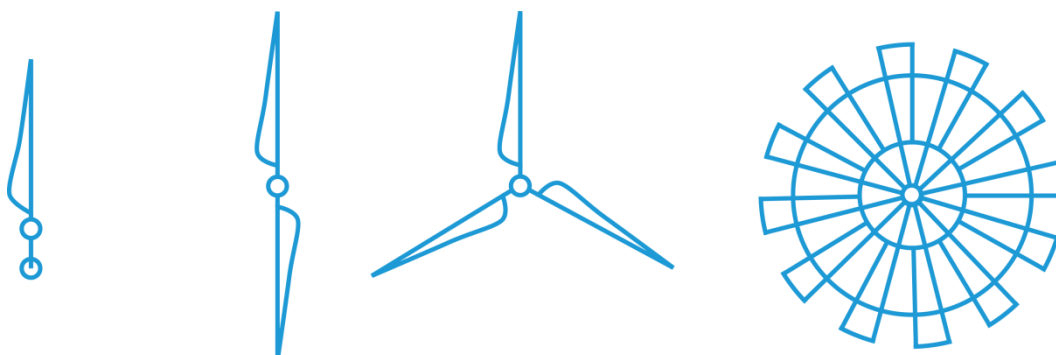
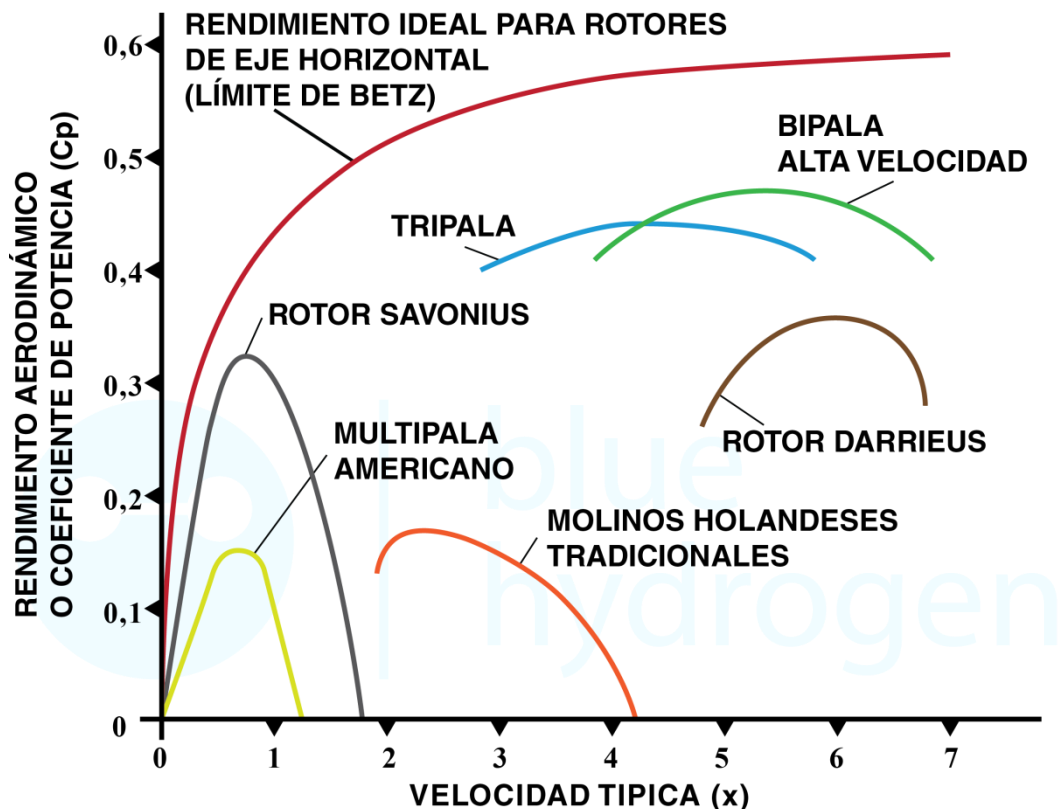


Ilustración 9 Aerogeneradores de eje horizontal más comunes: monopala, bipala, tripala y multipala

Las diferencias entre el multipala y el tripala residen en que el multipala aprovecha menos energía del viento, pero requiere de menor velocidad del viento para funcionar.

Cada tipo de aerogenerador tiene unas características propias que lo hacen idóneo para unos emplazamientos y lo desaconsejan para otros. En la [Gráfica 2] podemos observar esta comparativa.

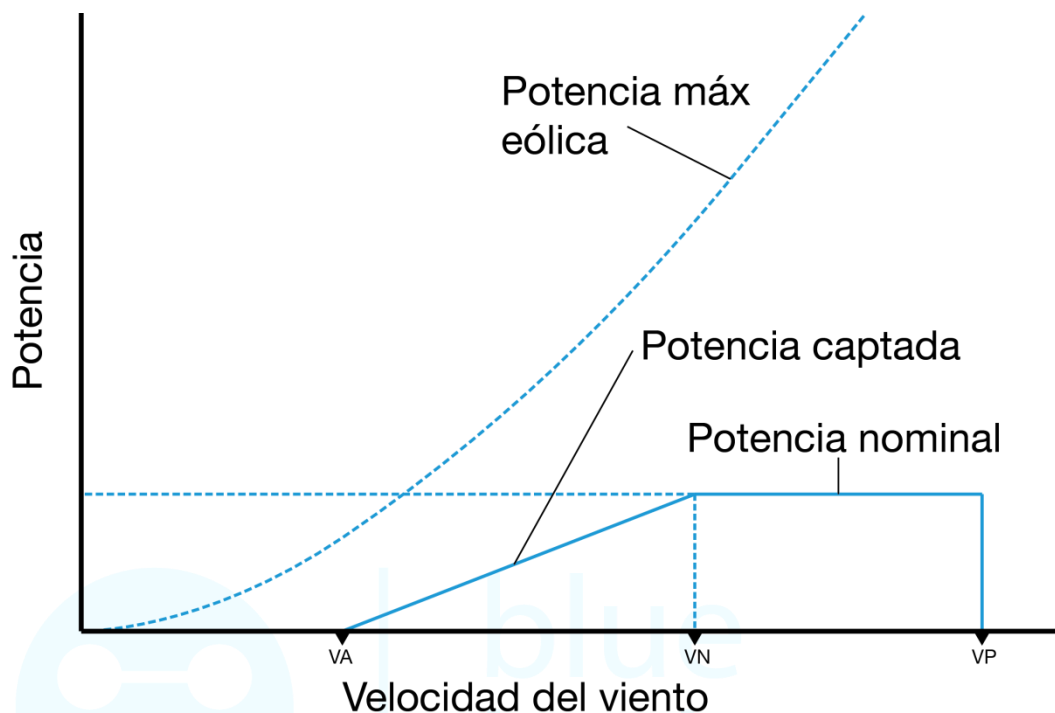


Gráfica 2 Comparativa de los tipos de aerogeneradores [1]

Los parámetros a tener en cuenta al elegir un aerogenerador son:

- Velocidad de arranque (V_A): velocidad mínima del viento para que gire.
- Velocidad de conexión: velocidad mínima del viento para que genere potencia.
- Velocidad nominal (V_N): velocidad mínima del viento para captar la máxima potencia.
- Velocidad de parada (V_P): velocidad del viento a partir de la cual hay que parar la máquina para evitar que se dañe.
- Área de barrido: sección de aire de la cual capta energía.

De la [Gráfica 3] se puede deducir la tendencia actual a construir aerogeneradores cada vez de mayor tamaño. Esto se debe a que la potencia aprovechable del viento sigue una distribución exponencial, obteniendo con el doble de velocidad de viento más del doble de potencia.



Gráfica 3 Relación entre potencia y velocidad del viento [1]

Y estos aerogeneradores han de estar situados a grandes alturas, ya que las corrientes de viento más estables y de mayor velocidad se encuentran en capas altas de la atmósfera

Principales fabricantes de aerogeneradores:

Las principales empresas de fabricación de aerogeneradores son: Vestas, Gamesa, Enercon, Siemens, Acciona y Alstom Wind [Ilustración 10].



Ilustración 10 Principales fabricantes de aerogeneradores

Ventajas e inconvenientes de los parques eólicos:

Las principales ventajas de un parque eólico son:

- Capta energía renovable.
- Se trata de energía autóctona, es decir, usa recursos propios no importados.
- Utiliza corrientes de aire de capas superiores, obteniendo energía más o menos constante.
- Crea numerosos puestos de trabajo locales.
- Agrupa en una misma zona los aerogeneradores, optimizando el aprovechamiento del terreno y el mantenimiento.

Entre los principales inconvenientes del uso de grandes generadores en parques eólicos terrestres destacan:

- La velocidad del viento es irregular e impredecible con exactitud, no pudiendo depender la demanda únicamente de esta energía.
- Causan impacto sobre la flora y fauna en general, ya que la construcción de un parque eólico conlleva creación de infraestructuras para su construcción y mantenimiento.
- Causan impacto sobre la avifauna, que, aunque supone un bajo índice de mortalidad respecto al tendido eléctrico, la colisión con un aerogenerador es otra causa de mortalidad para las aves.
- Impacto visual: por una parte cuenta la percepción subjetiva del usuario, que puede gustarle o no el diseño y apariencia de un parque eólico, y por otra está la percepción invasiva de la tecnología en un entorno natural.
- Causa ruido, aunque este factor se reduce según mejora el diseño, es un factor no deseado que se da.
- Contaminación lumínica, ya que para señalar su posición a las aves y vehículos aéreos emiten fuertes destellos luminosos.
- Tienen una vida útil, tras la cual los componentes han de ser reutilizados, reciclados o tratados.
- Generan la electricidad lejos del lugar de consumo, requiriendo de largos tendidos eléctricos para transportarla hasta el consumidor.
- Requieren de una inversión económica muy alta.

Ventajas e inconvenientes de los aerogeneradores a baja escala:

Los aerogeneradores a baja escala poseen múltiples ventajas frente a un parque eólico:

- La energía se obtiene en el lugar de consumo, evitando pérdidas e infraestructura por transporte.
- No requieren una inversión económica desorbitada.

- El mantenimiento es muy reducido.
- La instalación es sencilla.
- Permite un fácil desmantelamiento.
- Se pueden reutilizar en otro lugar.
- Admiten distintos diseños, de forma que se amolden a la estética del lugar donde se ubiquen.

Entre los inconvenientes de los aerogeneradores encontramos:

- Del mismo viento obtienen proporcionalmente menos potencia que un gran aerogenerador.
- Al funcional el viento a rachas, requieren de un sistema de almacenamiento de la energía.
- Hay lugares donde no hay suficiente viento.

Conclusiones del apartado:

Actualmente la tendencia es aprovechar la energía eólica disponible a través de grandes parques eólicos, relegando el uso de los pequeños y medianos aerogeneradores a zonas aisladas de la red eléctrica.

La aceptación de los parques eólicos por parte de la sociedad es la del mal menor, por sus inconvenientes medioambientales y estéticos. Sin embargo los aerogeneradores a baja escala pueden ser integrados de forma estética en el entorno urbano y rural, solventando algunos de los inconvenientes de los grandes parques eólicos.

2.3 HIDRÓGENO

Vector energético:

Comienzo este apartado con un fragmento del libro La isla misteriosa [Ilustración 11] de Julio Verne, calificado como culmen de sus novelas:

(...)-¿Y qué más se quemará en vez de carbón?- preguntó el marino.

-Agua- Respondió Ciro Smith.

-¿Agua?- Exclamó Pencroff-. ¿Agua para calentar las calderas de los vapores y de las locomotoras? ¿Agua para calentar el agua?

-Sí amigo mío- respondió Ciro Smith- Agua descompuesta por la electricidad, que llegará a ser entonces una fuerza poderosa y manejable (...). Si amigos míos, creo que el agua será algún día empleada como combustible; que el hidrógeno y el oxígeno que la componen, utilizados aislada o simultáneamente, producirán una fuente de calor y de luz inagotables y de una intensidad mucho mayor que la hulla. (...) ¡El agua es el carbón del futuro!

La isla misteriosa, Julio Verne (1874) [2]

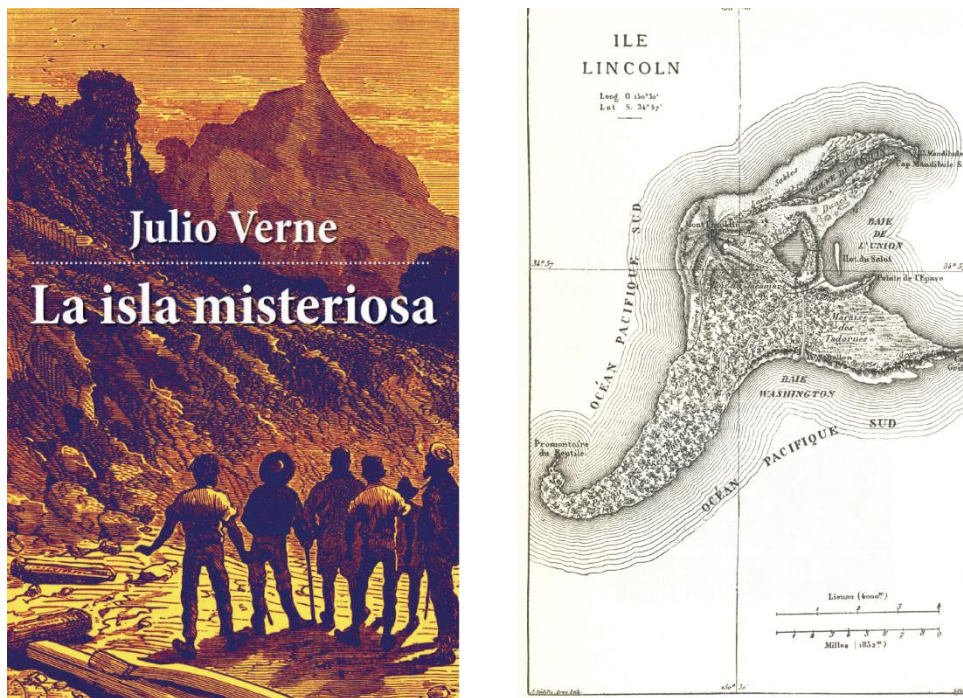


Ilustración 11 Portada del libro de Julio Verne y el mapa de la isla [2]

En realidad el hidrógeno no es una fuente de energía, sino un vector energético, como la electricidad; es decir, que hay que producirlo, ya que aunque el hidrógeno sea el elemento más abundante del universo, no suele encontrarse en la naturaleza en su estado libre.

El hidrógeno no es un recurso natural, no puede extraerse en una mina, sino que se produce a partir de una fuente de energía (recursos fósiles, renovables o nucleares).

Si el hidrógeno hay que producirlo consumiendo energía, y como dice la segunda ley de la termodinámica no existe la eficiencia energética perfecta, ¿por qué usar el hidrógeno como vector energético y no directamente la electricidad?

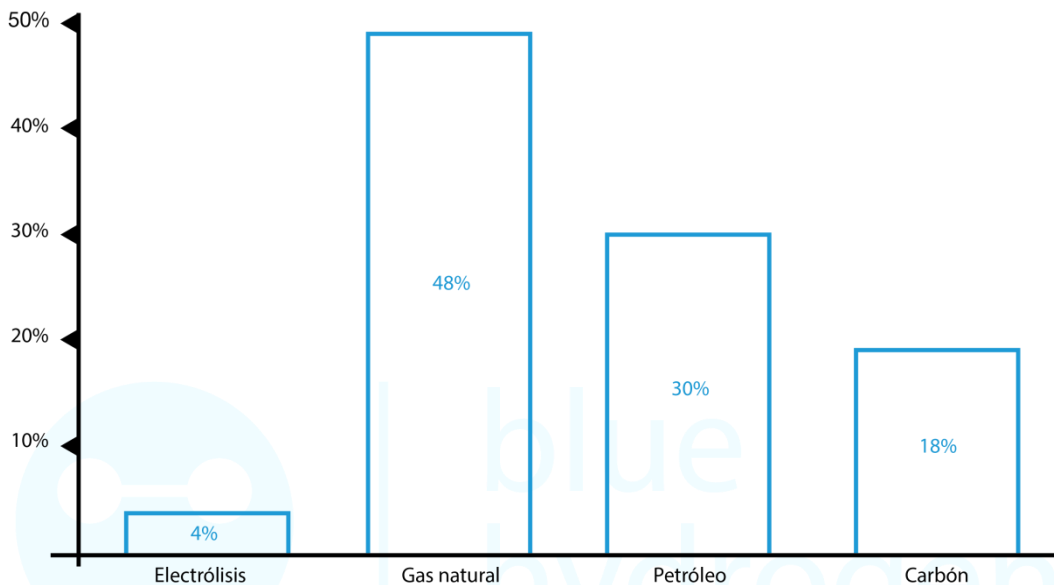
La anterior pregunta encuentra su respuesta en que precisamente al ser distinto el hidrógeno de la electricidad, podrían usarse ambos complementando los puntos fuertes de cada uno y neutralizando los débiles.

Se puede utilizar el hidrógeno para almacenar energía en estado gaseoso a presión, líquido a temperatura criogénica e incluso en estado sólido gracias a la adsorción en hidruros metálicos, y posteriormente liberado para obtener electricidad gracias a una pila de combustible, o calor y movimiento mediante la combustión del hidrógeno.

Producción:

El hidrógeno, como ya se ha comentado anteriormente, hay que producirlo. Actualmente existen varios métodos para obtenerlo; de hecho es algo habitual en numerosas industrias, habiendo una producción anual de hidrógeno estimada en 41 millones de toneladas anuales [3], siendo el 95% producido para su uso principalmente en refinerías e industria química.

La producción de hidrógeno a nivel mundial se refleja en la [Grafica 4].



Gráfica 4 Método de obtención del hidrógeno [3]

Prácticamente la mitad del hidrógeno producido mundialmente se obtiene a partir del gas natural, un tercio del petróleo y casi un quinto del carbón, siendo todos ellos recursos fósiles no renovables.

El hidrógeno utilizado actualmente se produce en su gran mayoría para la industria química (tres cuartas partes de la producción total), y el resto se utiliza para la electrónica, la metalurgia, la industria espacial y otros usos.

Aunque los modos de producción del hidrógeno más habituales sean los ya mencionados, no son los únicos, existiendo los siguientes métodos:

- Reformado
- Pirólisis
- Gasificación
- Termólisis
- Fotólisis
- Fermentación
- Fotobiológicos
- Electrólisis

Únicamente nos vamos a fijar en la electrólisis, que es el proceso que nos interesa emplear en este proyecto ya que las materias primas empleadas son el agua y la electricidad.

Por otra parte el hidrógeno puede utilizarse posteriormente en una pila de combustible, evitando la combustión para su utilización; pudiendo de este modo superar la eficiencia del límite de Carnot, basado en el segundo principio de la termodinámica.

La electrólisis para producir hidrógeno es una tecnología madura, basada en un proceso químico sencillo de alta eficiencia (72%-82%). Mediante el cual se requieren 237,75 KJ eléctricos a 25°C para disociar un mol de agua, obteniendo un mol de H₂, que contiene 241,82 KJ de energía. Siendo menor la energía necesaria cuanto mayor sea la temperatura del proceso.

Almacenamiento:

Una vez obtenido el hidrógeno es necesario almacenarlo, dándose tres opciones posibles: gas, líquido o sólido.

El hidrógeno tiene varias peculiaridades, una de ellas es su enorme densidad energética por volumen: 33 KWh/kg; mientras que el diésel tiene 14 KWh/kg. El problema surge en que el hidrógeno a temperatura ambiente es un gas, por lo que su densidad es 0.003 KWh/kg a presión ambiente y 2.35 KWh/kg como líquido a 20°K (temperatura criogénica).

El almacenamiento en forma de gas a presión tiene el inconveniente del gran volumen que ocupa aunque es el método más sencillo. La presión de trabajo suele ser 200 bar, con uso a 350 bar en algunos medios de transporte e incluso trabajando a 700 bar en los equipos más avanzados.

En la [Ilustración 1] podemos observar la comparativa entre el volumen del combustible necesario en un turismo para recorrer 400 km y el peso y volumen del recipiente necesario.

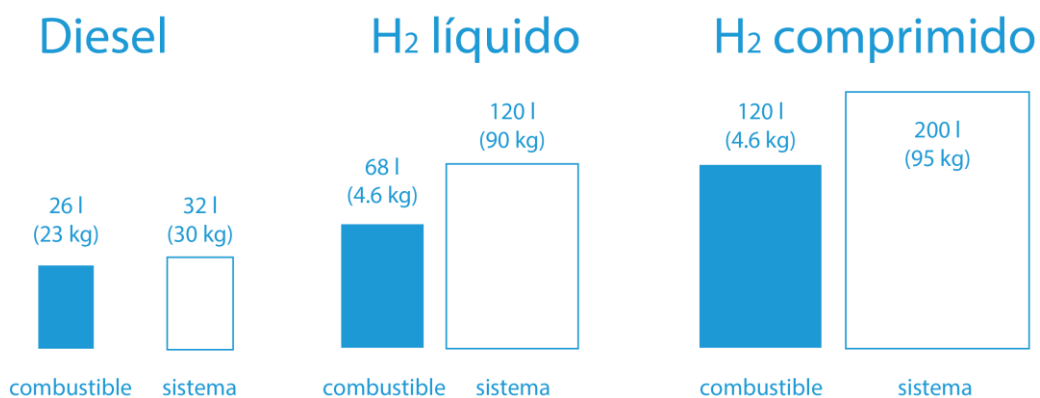


Ilustración 12 Comparación diésel - hidrógeno al usarse en un vehículo de 400 km de autonomía [12]

El hidrógeno líquido a 1 atm no puede estar a más de 20 K (-253°C), teniendo el inconveniente de que para almacenarlo hace falta alcanzar esa temperatura y mantenerla, suponiendo el proceso de licuefacción un 30% de la energía química almacenada. Esto lo hace un medio con pocas aplicaciones.

Los hidruros metálicos se utilizan para almacenar en ellos hidrógeno mediante un proceso de adsorción (carga) y posteriormente el de desorción (descarga). El consumo de la energía para este tipo de almacenamiento es del 13% del poder calorífico inferior del hidrógeno, comparable al almacenamiento de hidrógeno a 700 bar con el inconveniente de que absorben a temperatura ambiente menos de un 2% en peso, suponiendo dispositivos de gran peso respecto la energía contenida.

Se está investigando en el uso de nanotubos de carbono, fullerenos y clatratos como alternativas de almacenamiento.

Utilización:

Existen múltiples escenarios donde podría ser factible la utilización de hidrógeno como vector energético: luz, calefacción, cocinar y obtener agua y electricidad.

El método de utilización de hidrógeno que más interesa en este trabajo es obtener electricidad a través de la pila de combustible, cuyo funcionamiento queda reflejado en [Ilustración 13], siendo las PEMFC (polymer electrolyte membrane fuel cell) las que presentan mayores ventajas para su uso en vehículos.

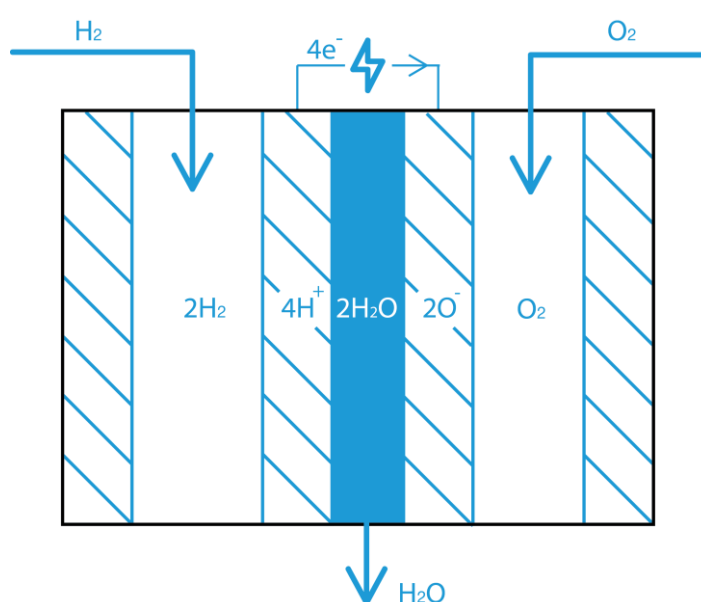
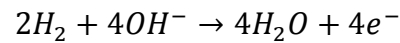


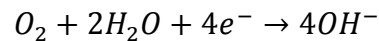
Ilustración 13 Esquema de funcionamiento de una pila de combustible PEMFC

En las pilas de combustible la energía química del hidrógeno se transforma en corriente eléctrica sin pasar por energía térmica, evitando el límite de eficiencia de Carnot para combustiones. En el ánodo se realiza la oxidación del H₂, mientras que en el cátodo se reduce el oxígeno.

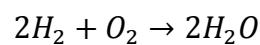
Reacción en el ánodo:



Reacción en el cátodo:



Resultando la reacción total:



La diferencia de potencial que se obtiene se deduce de la entalpía libre de la reacción de formación de agua a partir de hidrógeno y oxígeno, siendo de 1,23V, es por esto por lo que es necesario realizar una “pila” (*fuel cell* en inglés), conectando múltiples celdas en serie, obteniendo de este modo voltajes adecuados a la demanda.

En cuanto al rendimiento de este sistema se encuentra en un 0.83 a presión y temperatura constante, aunque este valor desciende a un intervalo entre 0.5 y 0.7 al aumentar la carga de trabajo; no obstante, es superior al 0,4 típico en las máquinas térmicas.

Las ventajas de este tipo de pilas en el transporte son su funcionamiento silencioso al ser un proceso químico, la reducción de vibraciones y con una duración estimada de 30.000h de funcionamiento.

En cuanto al transporte podría utilizarse la red de gas natural existente transportando tanto metano como hidrógeno, que serían separados antes de su uso. Otra opción es crear una nueva red para transporte exclusivo de hidrógeno o el transporte del mismo por carretera en bombonas a presión, opción poco viable por la baja densidad energética que tiene.

Como opción alternativa surge la producción “in situ” a partir de reformado de gas natural, opción que consume recursos fósiles.

Riesgos y seguridad:

Todo combustible tiene riesgos inherentes; poseyendo el hidrógeno algunas particularidades frente a otros combustibles.

Debido a su baja densidad, el hidrógeno en estado gaseoso tiene a subir, por lo que impide grandes concentraciones; siendo especialmente seguro en espacios abiertos. Es difícil que se produzca combustión con

concentraciones pobres y posee una alta temperatura de combustión espontánea.

Entre sus inconvenientes caben destacar que es la molécula más pequeña que existe, con la consecuente tendencia a escaparse, una baja energía de activación (con unas determinadas concentraciones combustiona fácil), es complicado mantenerlo en estado líquido, es invisible e inodoro, su llama es invisible a la luz del día y es más peligroso que otros combustibles en espacios cerrados donde puede haber fugas.

Las medidas de seguridad más sencillas son:

- Ubicar los depósitos fuera de los edificios.
- Asegurar la extracción favoreciendo una buena ventilación.
- Usar equipos que no producen chispas (seguridad intrínseca).
- Instalar detectores de concentración de hidrógeno con alarmas.

Pese a lo anteriormente dicho, el uso de hidrógeno tiene más de 100 años de producción industrial con un índice de accidentes muy bajo, produciéndose 50.000 millones de metros cúbicos al año.

No obstante la percepción subjetiva de la sociedad hacia el hidrógeno es en algunos ambientes negativa por el accidente del dirigible “Hindenburg” y “la bomba H”, habiendo supuesto un freno en el impulso generalizado del uso del mismo.

Michael Swain (Universidad de Miami, 2001) realizó un estudio comparativo entre un coche de hidrógeno y uno similar de gasolina, produciendo daños equivalentes en los depósitos y forzando la combustión. Y mientras que el coche de gasolina quedó destrozado, el coche de hidrógeno sufrió daños leves (sin peligro para los ocupantes).

En resumen, el hidrógeno posee riesgos de seguridad del mismo grado de magnitud que la gasolina o el gas natural; no siendo la seguridad un factor que impide el uso extensivo del hidrógeno.

Proyectos existentes y apoyo gubernamental:

Empresas como Ford, Toyota, BMW y VW están desarrollando modelos basados en hidrógeno. Toyota ha publicado un plan de futuro hasta 2050 “Challenge to Zero & Beyond” en el cual esboza su política de empresa haciendo un planteamiento sostenible en el que el coche eléctrico y la economía del hidrógeno cumplen un papel fundamental.

Para cumplir con este objetivo, Toyota ha desarrollado diversos modelos hasta llegar al “Mirai”, con un tiempo de repostaje de 3 minutos alcanzando 500 km de autonomía con una potencia máxima de 114 kW a

650V obteniendo un vehículo perfectamente funcional que se ha comenzado a comercializar en San Francisco (CA) en 2015, aunque se trata de un “concept”.

El apoyo gubernamental al hidrógeno en el sector del automóvil se inició en EEUU con el programa FreedomCAR (2002), con 1,2 billones de dólares. En la Unión Europea se creó el proyecto CUTE, ampliado en Islandia con el proyecto ECTOS y completado con el proyecto para movilidad urbana CITYCELL en colaboración con IVECO-IRISBUS.

En España se probaron funcionalmente varios vehículos de estos proyectos, tres autobuses de hidrógeno en Madrid del proyecto CUTE y otro más del proyecto CITYCELL con resultados muy satisfactorios. Incluso en Zaragoza hay instalada una “hidrogenera” para surtir de hidrógeno a vehículos.

Este impulso al hidrógeno es a nivel mundial, previendo Japón 5 millones de vehículos con pila de combustible para 2020 y en EEUU 100.000 vehículos.

Para que estas predicciones sean realizables es necesario antes reducir el coste de las pilas de combustible, mejorar sus prestaciones y durabilidad, desarrollar la producción en masa de las pilas, conseguir la producción de hidrógeno a gran escala a partir de energías renovables y obtener nuevos materiales y métodos para almacenamiento.



3 PROPUESTA



Ilustración 14 Apariencia exterior del surtidor de hidrógeno

3.1 APROVECHAMIENTO EÓLICO A BAJA ESCALA

El principal objetivo de este trabajo es impulsar la energía eólica a baja escala. Para ello se ha estudiado en el capítulo anterior el ámbito de la energía eólica, extrayendo que el uso de aerogeneradores no está extendido debido a factores tan dispares como la estética, el ruido o la inversión inicial que requieren junto a las reticencias de la sociedad a adaptar a su vida algo que se percibe como no del todo fiable.

Con este trabajo se pretenden cumplir los objetivos iniciales creando una propuesta de producto que impulse tanto el uso de la energía renovable como el del hidrógeno en el transporte.

El planteamiento surge como alternativa al uso de combustibles fósiles en una unidad familiar con dos coches que se utilizan a diario para moverse dentro de una ciudad.

El primer paso es validar si es posible obtener toda la energía requerida a través de la energía eólica en un emplazamiento en concreto, requiriendo un estudio sobre el terreno.

A continuación, la elección del aerogenerador que obtenga un aprovechamiento óptimo para las condiciones eólicas existentes y su dimensionado.

Y por último un sistema que permita transformar esa electricidad obtenida en hidrógeno y almacenarla para luego utilizarla en un vehículo impulsado por pila de combustible.

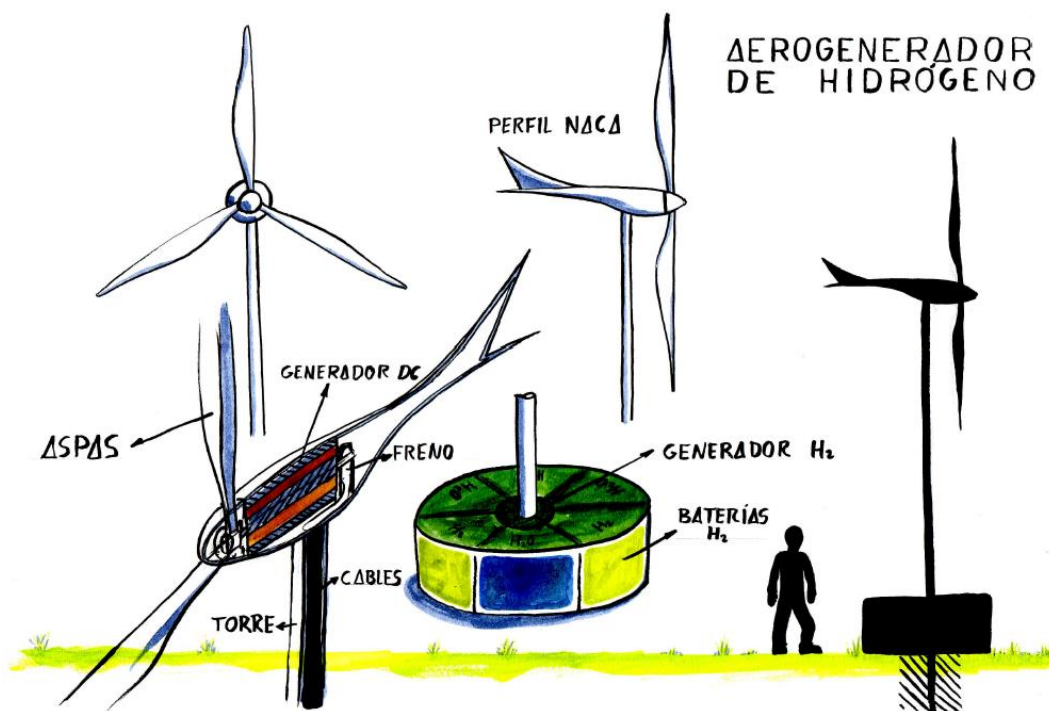


Ilustración 15 Idea de proyecto inicial

En un primer momento se pretendía en el presente trabajo ofrecer un producto que diese una solución única y definitiva; no obstante, al observar que las opciones posibles son múltiples, y que abarcar todos los elementos era excesivo, se ha optado por crear un producto que reciba electricidad de un aerogenerador (o panel solar) comercial, y que a partir de agua surta de hidrógeno a vehículos, es decir, se ha trabajado en el surtidor de hidrógeno.

Componentes

Nuestro sistema cuenta inicialmente con un medidor de condiciones eólicas a distintas alturas del suelo antes de la instalación definitiva del surtidor de hidrógeno. Para que los resultados sean fiables debe realizarse un estudio de validación de al menos un año de duración.

Este tipo de estudios requieren de al menos un año de recopilación de datos para tener información estimativa del comportamiento del viento cada día del año. Aunque para que sean totalmente fiables han de tener una duración de tres años, que es lo utilizado en los grandes parques eólicos donde no es posible corregir el emplazamiento escogido.

Esto se lleva a cabo con una torre de medición de 15m de altura, que contiene un anemómetro en cada uno de los 5 metros más altos, intercalados con veletas en los huecos intermedios [Ilustración 16].

Se obtendría la velocidad y dirección del viento a cinco alturas diferentes, pudiendo escoger la que ofrece un mayor potencial eólico.

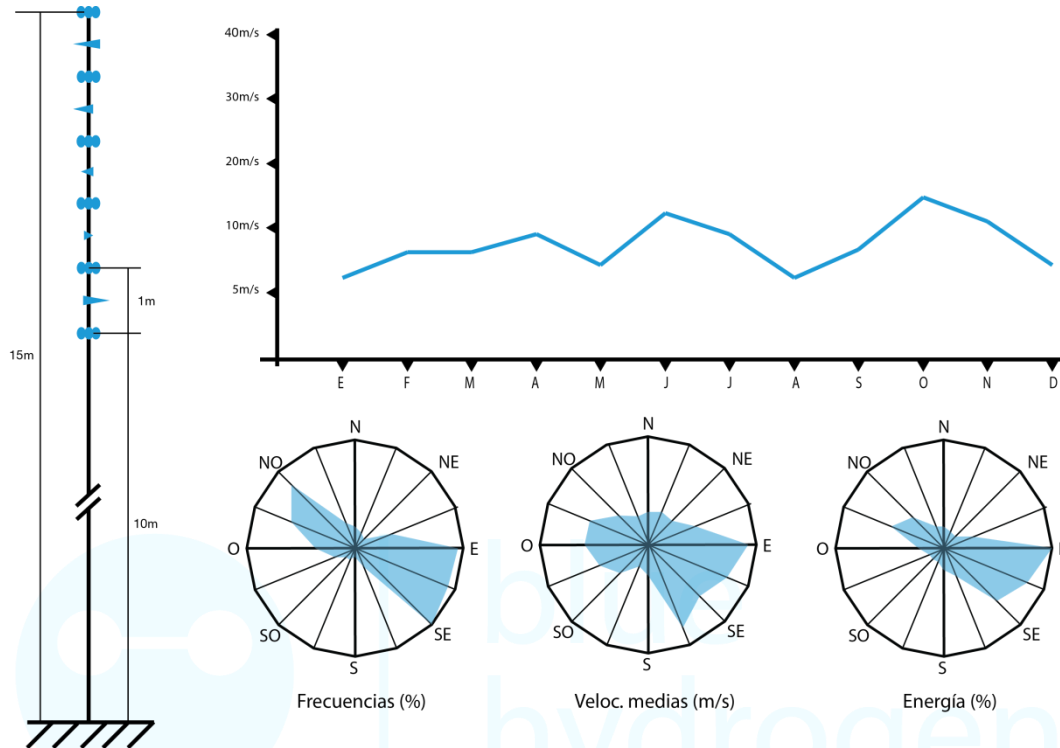


Ilustración 16 Sistema para el estudio de las condiciones eólicas de un emplazamiento concreto

Una vez obtenida la ubicación óptima del aerogenerador (o los aerogeneradores) junto con el modelo de aerogenerador adecuado a la misma, y haciendo uso de la [Gráfica 2], se instalaría tanto el aerogenerador como el surtidor de hidrógeno.

La producción de hidrógeno en cada lugar específico donde se encuentre el aerogenerador se reflejaría en una aplicación móvil, desde la cual se podría conocer el estado actual, para la producción y controlar las incidencias.

Un paso más que podría llegar a realizarse si se introdujese bien el producto en el mercado, sería tener acceso a los distintos sitios donde se produce el hidrógeno, y de este modo prever la recarga de combustible en otro surtidor en caso de necesidad o incluso compartir el hidrógeno acumulado ofertándolo a través de internet.

Según se puede apreciar en la [Ilustración 17], los aerogeneradores otorgarían la potencia eléctrica en corriente continua rectificadora al

electrolizador, alimentando también el extractor y la batería, que a su vez alimenta al compresor.

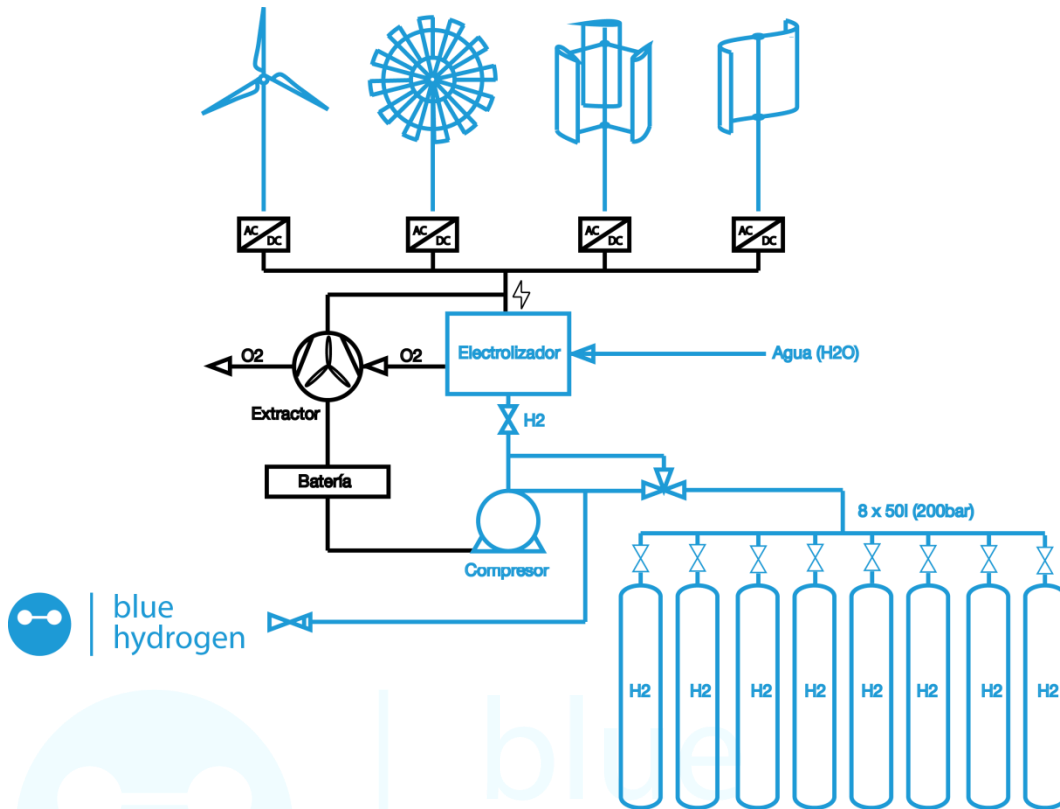


Ilustración 17 Diagrama de flujo de funcionamiento

El agua entra al electrolizador, que la disocia en sus elementos fundamentales, extrayendo el oxígeno y haciendo pasar el hidrógeno a través de un compresor que lo acumula en 8 cilindros de gas estándar de 50l, a una presión de 200 bar [Ilustración 18].

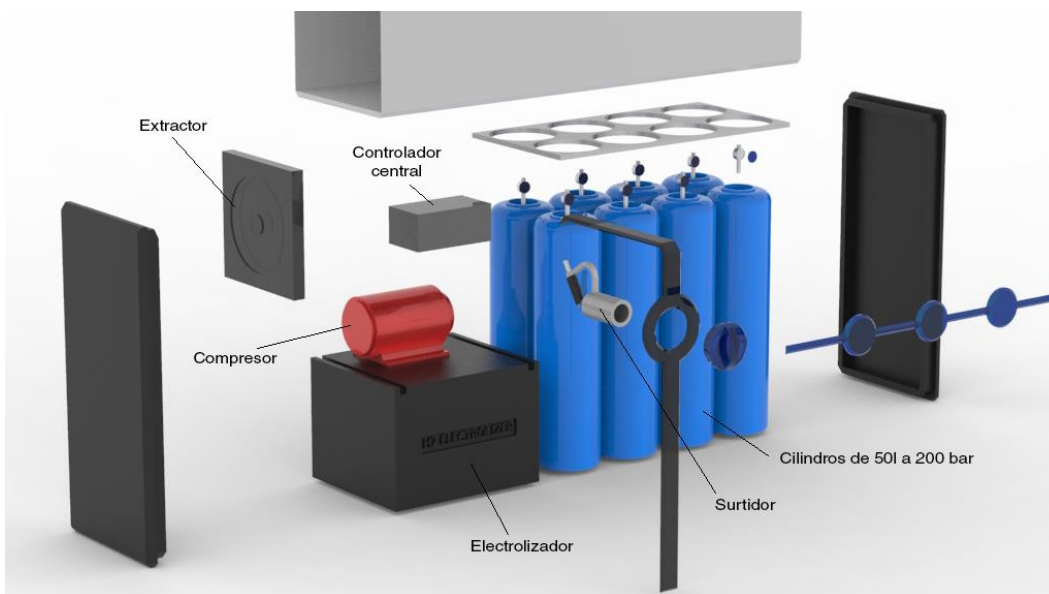


Ilustración 18 Componentes del surtidor de hidrógeno

En el momento de efectuar la recarga del vehículo se abre el circuito de tal modo que utilizando el mismo compresor se surte a una presión de 350 bar al depósito del coche. Teniendo que realizar el compresor el salto de presión desde los 200 bar de los cilindros.

Todo ello iría acompañado de los elementos de seguridad necesarios y una regulación automática de las válvulas, recogiendo los datos de las presiones de cada cilindro, temperaturas, producción de hidrógeno y otros datos para enviarlos vía internet o Bluetooth a una aplicación móvil que los mostraría al usuario.

Estimación demanda energética

Para el presente estudio se ha optado por estimar lo necesario para el transporte de una unidad familiar, que consta de dos vehículos con un uso diario de 100 km en trayectos por vía urbana.

Contando con que un coche de hidrógeno como el Toyota Mirai consume 0,76 kg H₂/100Km, obtenemos un consumo total de los dos vehículos de 1,52 kg H₂ cada día. Cada kg H₂ contiene 33.33 Kwh/kg, por lo que para generar 1,52 kg se necesitarían 50,66kWh/día, y contando con que el electrolizador tiene una eficiencia del 75% se necesitarían producir 63,325 kWh/día, que distribuido entre 24 horas da una potencia necesaria de 2,638kW.

En el presente trabajo solo se pretende estudiar la energía eólica, aunque es sabido que puede utilizarse de forma complementaria con otras fuentes renovables como la energía solar.

De cara a tener almacenada una reserva de hidrógeno en cilindros estándar de 50l a 200 bar de presión se sobredimensionaría la potencia necesaria a 3kW, generando un stock de hidrógeno para ser consumido los días que no haya viento.

Estos 3kW pueden obtenerse mediante un único generador o conectando varios generadores más pequeños en paralelo.

El número de cilindros necesarios serían los suficientes para suplir la falta de viento durante al menos cuatro días manteniendo el uso normal de los vehículos.

Cada cilindro de 50l a 200 bar de presión y a 25°C, puede contener según la ley de los gases ideales [Ec. 1]:

$$[\text{Ec. 1}] \quad PV = nRT$$

Despejamos n para saber el número de moles de H₂ contenido [Ec. 2]:

$$[\text{Ec. 2}] \quad n = \frac{PV}{RT}$$

Y al sustituir [Ec. 3]:

$$[\text{Ec. 3}] \quad n = \frac{197.38 \text{ atm} \cdot 50 \text{ l}}{0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{k} \cdot \text{mol}} \cdot 298.15 \text{ k}}$$

Nos queda un valor de $n = 403.66$ moles de moléculas de H_2 , y sabiendo que la masa molecular del H_2 es 2 g/mol , se obtiene un peso de 0.807 kg de H_2 en cada cilindro de 50 l .

Si se consume $1.52 \text{ kg H}_2/\text{día}$, para 4 días serán necesarios 6.08 kg H_2 en stock, y si en cada cilindro de 50 l puede haber 0.807 kg H_2 , serán necesarios 7,5 cilindros; es decir, hay que tener una instalación con 8 cilindros de 50 l .

A todo lo anterior hay que añadir el consumo energético del compresor, los componentes automáticos y de seguridad y el sistema de refrigeración, los cuales funcionarían gracias a una batería que se cargaría del propio aerogenerador, teniendo independencia energética el sistema en su conjunto y únicamente requiriendo agua para disociar.

Mantenimiento

El objetivo de acercar la energía eólica a los usuarios también incluye facilitar y simplificar todo de tal manera que un usuario sin experiencia sea capaz de emplearla con unas pautas básicas.

Del mismo modo se pretende reducir el mantenimiento al mínimo posible, siempre y cuando se cumplan con todos los requisitos de seguridad y salud y se comprueben con periodicidad los componentes del equipo.

El mantenimiento sería llevado a cabo por personal cualificado con la periodicidad estipulada en la normativa vigente sobre el uso de gases a presión.

3.2 OPTIMIZACIÓN DE LA UBICACIÓN

La ubicación del aerogenerador es un factor tan importante que puede marcar la diferencia entre una instalación rentable y otra inútil.

Dispositivo para validar la ubicación

Como se ha comentado anteriormente, se realizaría un estudio del viento de al menos un año de duración en el emplazamiento exacto donde se posicionaría el aerogenerador.

De este estudio se obtendría el aerogenerador idóneo para cada emplazamiento junto con la altura óptima para captar la máxima potencia posible. Esto se llevaría a cabo con una torre con anemómetros y veletas a distintas alturas que captarían datos precisos del viento y crearían promedios.

Estos datos se recogerían en una aplicación que posee el usuario para conocer los factores y saber en todo momento cuánta potencia podría obtener.

Esta torre debería requerir el mínimo mantenimiento posible, es decir, que pueda funcionar durante el estudio completo de un año sin tener que ser vista por un técnico más que en la instalación y en la desinstalación.

3.3 EVALUACIÓN DE VIABILIDAD TÉCNICA

Actualmente existen todos los componentes necesarios para realizar el equipo, tanto los aerogeneradores, como el electrolizador y los tanques de almacenamiento y demás elementos necesarios. Lo que no existe es un producto que los aúne todos en un producto accesible al público general.

No obstante, como los sistemas a baja escala no están implantados, es necesario un desarrollo tecnológico importante de cara a afianzar el producto optimizando costes, procesos y mantenimientos.

3.4 IMPLEMENTACIÓN

Los lugares donde resultaría de mayor utilidad el sistema completo serían en aquellos donde se pueda captar la energía del viento, tales como:

- Viviendas particulares, ya sean fincas, chalets o pisos. Ubicando los aerogeneradores sobre la cubierta o en el suelo en una torre según las características concretas del edificio y del viento.
- Cauces de ríos, donde las corrientes de viento se ven favorecidas.
- Gasolineras, pudiendo crear “in situ” el producto que posteriormente distribuyen al público.
- Grandes superficies comerciales con aparcamientos al aire libre.

En función de los coches a los que se quiera surtir, habrá que dimensionar los aerogeneradores y el volumen necesario para la acumulación del hidrógeno.

3.5 IMAGEN Y MARCA

El cambio que se propone es de tal magnitud que transformaría el modo general de entender la energía, ya que se podría llegar a obtener de la naturaleza toda la energía necesaria para cubrir las necesidades diarias de los ciudadanos.

Esto recuerda a numerosas propuestas como la de Greenpeace del 25/05/2016 [Ilustración 19], donde las soluciones que se proponen mitigan las consecuencias, pero no llegan a ofrecer una solución de raíz a las causas de la contaminación en las ciudades.

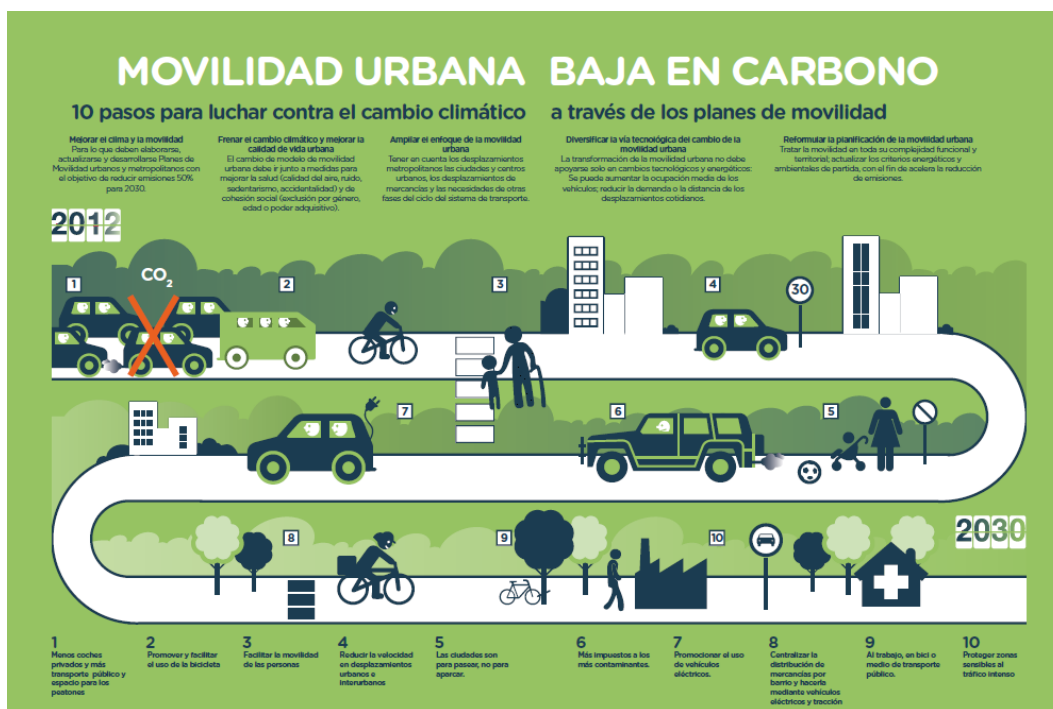


Ilustración 19 Medidas para reducir el carbono [Fuente: Greenpeace]

Aunque algunas medidas son realizables, lógicas e incluso evidentes, otras son de difícil ejecución y aceptación social.

El color verde se asocia con este tipo de iniciativas por mantener una analogía con el color esencial de las plantas.

Para el proyecto actual se pretende ofrecer también una imagen limpia, con un mensaje claro de apoyo a la sostenibilidad ofreciendo soluciones reales, sin confundirse con propuestas utópicas.

“El azul es el nuevo verde”

Se ha elegido como color el azul cielo, en concreto: CMYK (75, 25, 00, 00). El motivo es que guarda una gran analogía con los elementos básicos del proyecto, como es el agua, que se transforma en hidrógeno, y el viento del cielo, que cede su energía.



Ilustración 20 Isologo del proyecto

El isologo [Ilustración 20] pretende representar el mundo con la forma circular exterior en la que una molécula de hidrógeno se encuentra de forma descentrada, es decir en desequilibrio, representando el movimiento. Se trata de un isologo y no un logotipo, ya que el texto y el icono tienen una relación de dependencia, porque al mostrar solo las letras o el icono se pierde su significado.

Las proporciones seguidas en la distribución de los elementos del isologo se pueden apreciar en la [Ilustración 21], habiéndose utilizado la tipografía “Helvética” para su elaboración.

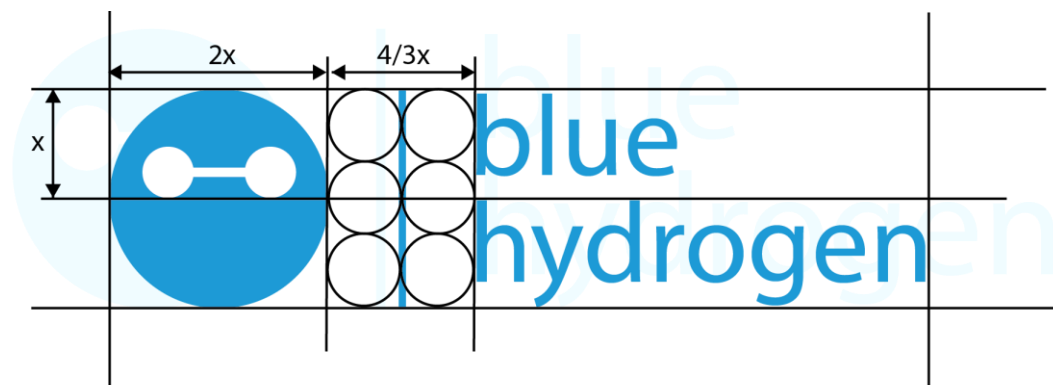


Ilustración 21 Proporciones principales del isologo

El nombre de “blue hydrogen” en letras minúsculas lo hacen más cercano al público general, respaldado por el carácter amigable del icono.

El significado de “blue hydrogen” deja claro de lo que se está hablando al incluir la palabra “hydrogen”. Por otra parte la palabra “blue” en azul refuerza la intensidad general, ya que da sensación de pulcritud al ser monocromo y de rasgos limpios; y seguridad por su distribución horizontal.

3.6 IMPACTO AMBIENTAL

Uno de los objetivos del presente trabajo es crear una conciencia medioambientalmente responsable y ofrecer la oportunidad de llevarlo a cabo en el sector del transporte familiar. Reduciendo de este modo la

huella de carbono personal y favoreciendo la economía local al consumir recursos propios.

Rueda de Lids

Un modo de evaluar el impacto ambiental de un nuevo producto realizado teniendo en cuenta el ecodiseño es la rueda de Lids [Ilustración 22], que muestra gráficamente los puntos fuertes y débiles del producto.

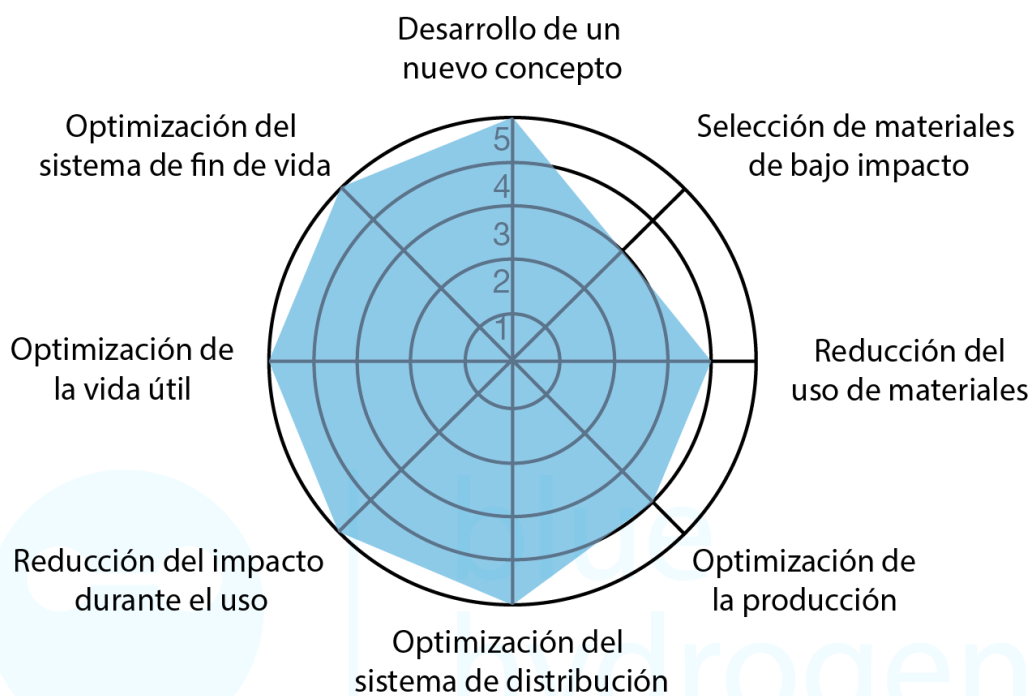


Ilustración 22 Rueda de Lids de Blue Hydrogen

Se han evaluado los ocho puntos de la rueda de Lids de la siguiente manera:

- Se trata de un nuevo **concepto**, ya que no existe un sistema a baja escala pensado para crear tu propia energía para el transporte del día a día.
- Los **materiales** escogidos para el producto no están seleccionados primando su bajo impacto, sino la seguridad del mismo.
- Se trata de **reducir** los materiales, manteniendo la seguridad y no escatimando en cosas que sirvan para alargar la vida útil.
- La **producción** no quedaría optimizada hasta que no se fabricase en serie en instalaciones específicas que utilizasen su máxima capacidad.
- La **distribución** es sencilla dada la forma prismática del producto, además de haber optado por tamaños de cilindros a presión estándar.

- Durante el uso el **impacto** se ha tratado de reducir a cero, ya que se autoabastece de energía y el único residuo que crea es agua.
- Dado que es un producto que requiere cierta inversión, los materiales y elementos son de calidad para garantizar una larga **vida útil**.
- El **fin de vida** es otro punto fuerte, ya que al tratarse de componentes comunes actualmente en otras muchas aplicaciones, al final de la vida útil la mayoría de ellos podrían reutilizarse, como el compresor, los cilindros o el electrolizador.

Ciclo de cero emisiones

El uso actual que se hace del coche de hidrógeno es poco coherente, ya que se obtiene el hidrógeno a partir de reformado de metano (gas natural), contaminando prácticamente lo mismo que si se usa directamente el metano como combustible.

Los detractores de los vehículos de hidrógeno defienden que no tiene sentido su uso, ya que se contamina lo mismo y se hace un uso menos eficiente de la energía al transformar energía de alto valor en hidrógeno. A esto se añade que tanto el coche eléctrico como el de hidrógeno podrían dar sensación de no ser contaminantes, pero eso depende del modo en que se ha obtenido la energía; y tienen razón.

Con el producto que se presenta se busca crear un ciclo de uso de cero emisiones, en el cual la energía es captada por energías renovables en el lugar donde se necesita (en este caso eólica), y con esa energía disociar el agua, para usar posteriormente el hidrógeno en una pila de combustible recuperando la energía y liberando únicamente agua, cerrando un ciclo de cero emisiones.

Otro punto fuerte de la presente propuesta es que la energía se produce en el sitio donde ha de ser consumida, esquivando los transportes, que no solo son altamente contaminantes, sino que consumen una parte importante de la energía que transportan.

3.6 ANÁLISIS DAFO

De cara a ofrecer una visión global del proyecto, es conveniente realizar un análisis DAFO en el cual se identifiquen elementos de análisis interno del proyecto (debilidades y fortalezas) como un análisis externo del entorno (amenazas y oportunidades).

Debilidades:

- Tecnología en desarrollo a nivel baja escala
- Es necesario un estudio de viabilidad en cada caso concreto con una duración larga (al menos un año).
- No es conocido el hidrógeno como vector energético.

Fortalezas:

- Apoyo gubernamental al uso del hidrógeno y renovables.
- Conciencia social de cambio de sistema energético.
- Ya existen todos los componentes necesarios.

Amenazas:

- Precio de la energía es fluctuante y puede variar la rentabilidad.
- Desarrollo de alternativas más baratas al hidrógeno en el mundo del automóvil (baterías no contaminantes).
- Incertidumbre de acogida masiva del hidrógeno en el transporte.

Oportunidades:

- Sostenibilidad.
- Ciclo de cero emisiones en uso real.
- Crear y controlar tu propia energía.
- Fomentar el empleo local.
- Reducir dependencia energética del extranjero.
- Mejora el aprovechamiento de la energía primaria.
- Reduce la inversión en infraestructuras.
- La posibilidad de accidentes baja al requerir menos procesos y suprimir el transporte del hidrógeno.

3.8 VIABILIDAD ECONÓMICA

Debido a que es un producto innovador, no es fácil evaluar el coste del mismo. Podría llegar a estimarse, ya que está compuesto de elementos existentes, pero al ser producido en masa el precio no tendría nada que ver con el obtenido para el sistema inicial.

Por otra parte, realizar esta inversión tiene ventajas considerables fuera del punto de vista económico, como es reducir el impacto personal en el medio ambiente suprimiendo el elemento que más GEI (Gases de Efecto Invernadero) produce, que es el transporte. Además de que se impulsa la economía local y se evitan importaciones de energía extranjera, lo cual contribuye al medio ambiente en la medida en que no requiere de grandes infraestructuras ni de transportar la energía al lugar de consumo.

En resumen, dejando a un lado el aspecto económico de la inversión, existen bienes intangibles que favorecen el uso del hidrógeno para el transporte; aunque el presente sistema solo tendrá verdadera aceptación si la inversión total es al menos la misma que la actual con combustibles fósiles.

3.9 RENDERS DE PRODUCTO

De cara a mostrar visualmente el producto se ha realizado una simulación tridimensional del mismo (únicamente excluyendo los aerogeneradores), de tal modo que se puede percibir la viabilidad del mismo y valorar su aceptación en los potenciales consumidores.

Se muestran en primer lugar imágenes del producto con fondo blanco, mostrando la apariencia exterior y la distribución interior.

A continuación se pueden observar dos fotomontajes de cómo quedaría en una gasolinera y en un parking.

Finalmente se muestra la maqueta realizada junto a una maqueta de coche a escala 1:18 para referenciar el tamaño.

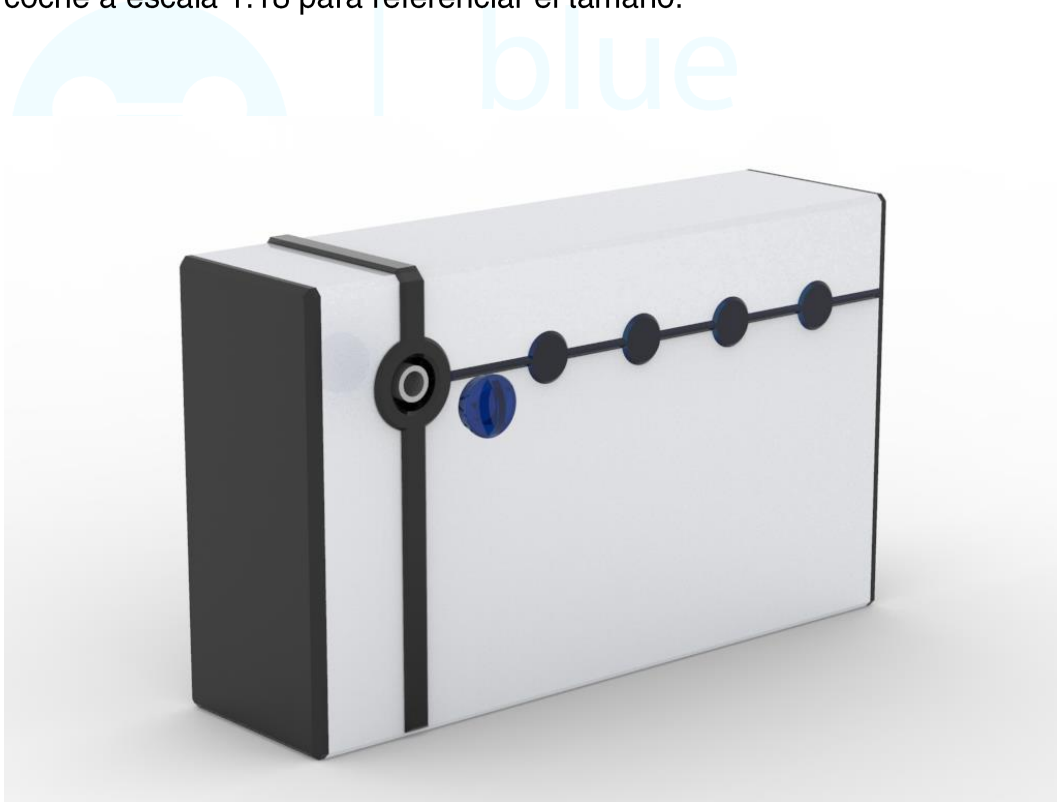


Ilustración 23 Apariencia exterior de "Blue hydrogen"

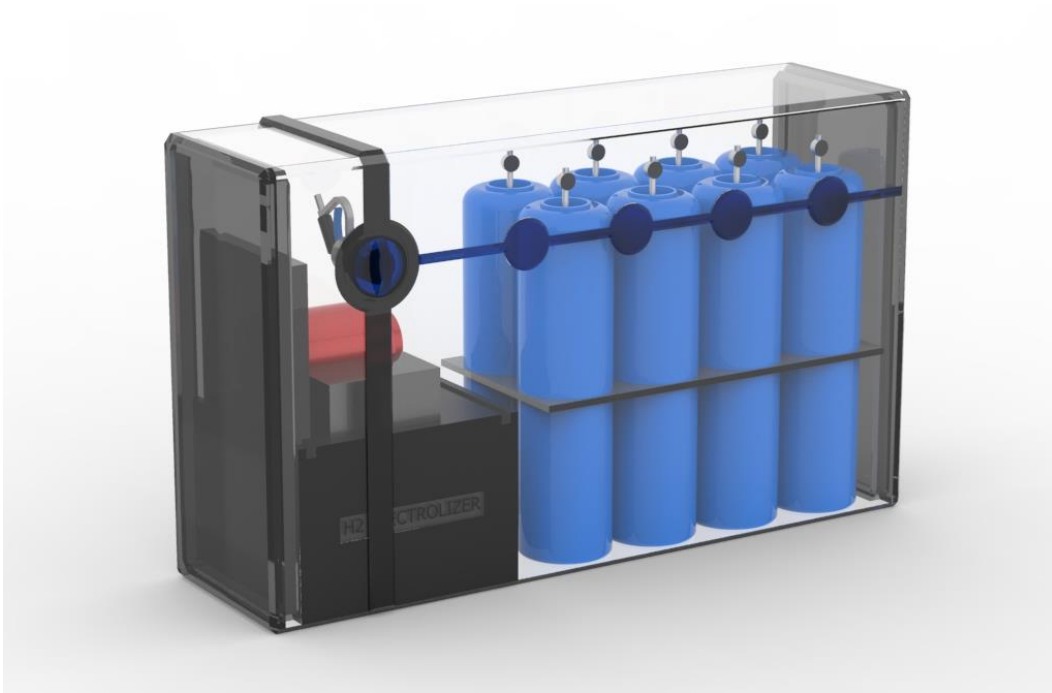


Ilustración 24 Distribución interior



Ilustración 25 Tapa del surtidor



Ilustración 26 Fotomontaje en una posible ubicación



Ilustración 27 Situado en una gasolinera



Ilustración 28 Al lado de la salida de un parking



Ilustración 29 En un parking especialmente pensado para coches eléctricos



Ilustración 30 Maqueta del surtidor a escala 1:18 referenciada gracias a la maqueta de un coche

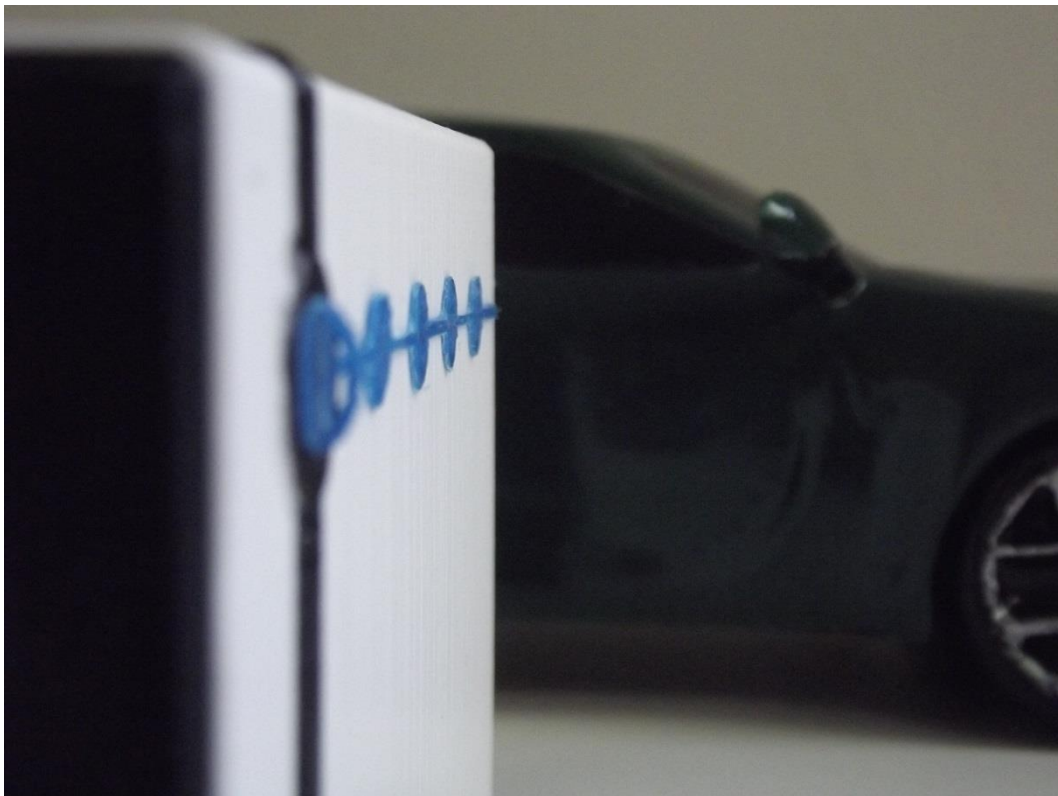


Ilustración 31 Detalle de la maqueta del surtidor



4 CONCLUSIONES:

4.1 IMPULSO SOCIOECONÓMICO

El agotamiento de los combustibles fósiles es algo evidente, ya que se tratan de una fuente de energía finita; no ocurre así con las energías renovables. Derivándose la solar y la eólica de la energía del sol, cuya duración puede considerarse a efectos prácticos ilimitada.

A esta necesidad de un sistema energético viable a largo plazo hay que añadir la contaminación existente en los núcleos urbanos producida en su mayoría por el uso de combustibles fósiles en el transporte.

Es conveniente mencionar los conflictos a nivel mundial a causa de la energía y a las desigualdades e injusticias acarreadas por el afán de tener acceso a ella.

También es importante evaluar el cambio climático, que aunque es objeto de debate en qué medida se debe al ser humano, es evidente que el ser humano causa un impacto en el medio ambiente, y que se debe trabajar para que sea lo menor posible.

Todo esto nos lleva a un cambio radical en el modo de entender la energía, y por tanto una variación en la filosofía de vida, dándose un avance hacia un mayor aprovechamiento de los recursos y un modo de funcionar más eficiente y sostenible.

4.2 VALORACIÓN FINAL

Para darse este cambio paradigmático hay que hacer propuestas viables técnicamente y económicamente rentables que lleven a una evolución progresiva hacia la sostenibilidad total.

En este entorno se presenta “blue hydrogen”, un proyecto que engloba y cierra el ciclo energético del transporte urbano, mediante el aprovechamiento de los recursos eólicos del lugar transformándolos en hidrógeno para su posterior uso en vehículos de transporte. Presentando entre sus ventajas un ciclo de cero emisiones durante el uso y la autonomía energética del usuario.

Al tratarse de un sistema energético con hidrógeno, que es un vector energético como la electricidad (a diferencia de los combustibles fósiles, que son fuente de energía), lo lógico es comparar el sistema de vehículos de hidrógeno frente a los eléctricos, ya que el sistema de aprovechamiento de energía eólica vale tanto para uno como para el otro.

Desde el punto de vista funcional, los detractores del coche eléctrico se oponen a él porque aparentemente no tienen emisiones de GEI (Gases

de Efecto invernadero), pero esto es así tan solo si la energía se ha obtenido de fuentes renovables.

Por otra parte el principal problema del coche eléctrico es la autonomía y



peso de las baterías, siendo habitual una autonomía de 200 km reales como los que ofrece el Nissan Leaf [Ilustración 32] con una carga en casa de 8 horas a 16A, y posibilitando una carga rápida de un 80% de la batería en 30 min.

Ilustración 32 Nissan Leaf [Fuente: Nissan]

Por su parte el Toyota Mirai [Ilustración 33] es el vehículo comercial de hidrógeno, cuenta con una batería en la que acumula la electricidad producida del hidrógeno a través de la pila de combustible.



Ilustración 33 Toyota Mirai [Fuente: Toyota]

Sus ventajas claras son el tiempo de repostaje de tan solo 3 min, comparable al de un vehículo propulsado por combustibles fósiles y su autonomía de 500 km, pudiendo ser recargado rápidamente cuando sea necesario.

A todo lo anterior hay que añadir la percepción del usuario final sobre el producto, siendo necesario ofrecer no solo soluciones viables, sino estéticamente atractivas, facilitando así su implementación.

El diseño industrial aúna la componente funcional con la componente estética, haciendo del diseño del producto un modo de progreso social.

La sostenibilidad ha de mostrarse como lo que es, algo atractivo, innovador y que mejora la sociedad y el nivel de vida de las personas, a la vez que respeta el medio ambiente. Y para que esta imagen llegue al usuario es necesario el diseño.

En resumen, el impulso del hidrógeno como vector energético junto con la integración de las energías renovables en el entorno urbano de forma estética se plantean como una solución viable al uso sostenible del planeta.





5 BIBLIOGRAFÍA:

- 1- FERNÁNDEZ SALGADO, JOSÉ MARÍA; Tecnología de las Energías Renovables, Ed: AMV, Madrid (2008).
- 2- VERNE, JULIO; La Isla Misteriosa, Ed: Plaza y Janés (1971, original de 1874).
- 3- LINARES HURTADO, JOSÉ IGNACIO; El hidrógeno y la energía, Ed: Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI, Madrid (2007).
- 4- OTERO DE BECERRA, JUAN; Hidrógeno y pilas de combustible: estado actual y perspectiva inmediata, Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI, Madrid (2010).
- 5- S.A. SHERIF; Handbook of Hydrogen Energy, Ed: CRC Press, Boca Raton, FL (2015).
- 6- SEVILLA, ALFONSO; La Energía del Sol y del Viento, Recursos inagotables al alcance de todos, Ed: Geohabitat, Madrid (1992).
- 7- A. TER-GAZARIAN; Energy Storage for Power Systems, Ed: IEE ENERGY SERIES 6, 121-130 (1994)
- 8- FERNÁNDEZ SALGADO, JOSÉ MARÍA; Guía completa de la energía eólica, Ed: AMV Ediciones, Madrid (2010).
- 9- EDUARD W. JUSTI; Hidrógeno solar, energía para el futuro, Ed: Marcombo 253-352 (1985).
- 10-AVIA ARANDA, FELIX; La energía eólica, Fundación Gas Fenosa, Barcelona (2012).
- 11-JARABO FRIEDRICH, FRANCISCO; Energías renovables, Ed. ERA SOLAR, Madrid, 87-130, 270-274, (2000).
- 12-RIFKIN, JEREMY; La tercera revolución Industrial, Ed: Planeta, (2011).
- 13-WENGENMAYR, ROLAND; Renewable Energy, Sustainable Energy Concepts for the future; Ed: WILEY-VCH, Weinheim (2008).
- 14-PERALES BENITO, TOMÁS; Guía del Instalador de Energía Eólica, Ed: Creaciones Copiright, Madrid (2010).
- 15-REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, Diccionario esencial; Ed: ESPASA, Madrid (2006).
- 16-KURT C. ROLLE, Termodinámica, Ed: Pearson (2006).
- 17-VON A. BETZ, Die Windmühlen im Lichte neuerer Forschung, Ed: Fünfzehnter Jahrgang, Berlín (18 noviembre 1927).

Todos las ilustraciones y fotografías donde no se cite la fuente son de creación propia; los gráficos también son de diseño propio con datos extraídos de la fuente entre corchetes [].



6 ANEXOS

ANEXO 1 LEYES DE LA TERMODINÁMICA [15]:

- 0- Dos cuerpos separados que están en equilibrio térmico con un tercer cuerpo, también están en equilibrio térmico entre sí.
- 1- La energía no se crea ni se destruye, solo se puede convertir en sus diversas formas.
- 2- Ninguna máquina térmica puede producir un trabajo neto intercambiando calor con una región a una sola temperatura fija.
- 3- La entropía tiende a un valor constante mínimo cuando la temperatura tiende al cero absoluto. Para un elemento puro, este valor mínimo es cero, pero para todas las demás sustancias no es menor que cero, y posiblemente sea mayor.

ANEXO 2 LÍMITE DE BETZ [16][8]:

Betz demostró en el artículo “Die Windmühlen im Lichte neuerer Forschung”, (Berlín, 18 de noviembre de 1927) que la máxima energía aprovechable en un aerogenerador es siempre menor del 60% de la energía contenida en el viento.

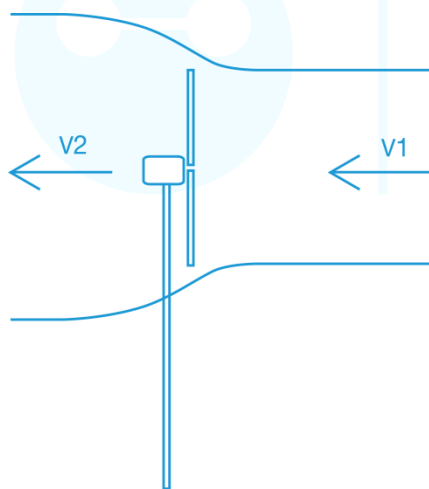


Ilustración 34 Tubo de corriente

La potencia cinética contenida en el viento es:

$$P_0 = \frac{1}{2} m V_1^2$$

Siendo m la masa de aire que atraviesa el rotor por unidad de tiempo y V_1 la velocidad del viento inicial. Dicha masa de aire que entra en el tubo de corriente por unidad de tiempo es:

$$m = \rho A V_1$$

Siendo ρ la densidad del aire y A el área del rotor.

Sustituyendo m en la primera ecuación obtenemos:

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho A V_1^3$$

Por lo tanto la potencia del viento es proporcional a la densidad del aire, al área de la superficie de barrido y al cubo de la velocidad del viento incidente.

La potencia extraída del viento es la diferencia entre la potencia cinética del viento inicial y la final.

$$P = \left(\frac{1}{2}mV_1^2\right) - \left(\frac{1}{2}mV_2^2\right)$$

La velocidad media del viento es el promedio entre la inicial V_1 y la final V_2 :

$$V_r = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

Y la potencia extraída del viento es:

$$P = \rho A \left(\frac{V_1 + V_2}{2}\right) \left[\left(\frac{V_1^2}{2}\right) - \left(\frac{V_2^2}{2}\right)\right]$$

Definimos k como la relación entre la velocidad de entrada y la de salida:

$$k = \frac{V_1}{V_2}$$

La potencia extraída en función de k es:

$$P = \frac{1}{4} \rho A V_1^3 (1 + k)(1 - k^2)$$

Para maximizar la energía obtenida igualamos a cero la derivada de la potencia respecto k :

$$\frac{dP}{dk} = 0$$

Obtenemos la ecuación $3k^2 + 2k - 1 = 0$, cuya solución es $k = 1/3$

La máxima potencia extraíble del viento se consigue cuando la velocidad de salida es un tercio de la de entrada. Se sustituye este valor en la ecuación de la potencia extraída obteniendo el valor máximo:

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{8}{27} \rho A V_1^3$$

Definimos el coeficiente de potencia como la relación entre la potencia extraída respecto a la energía cinética del viento:

$$P = \frac{P_{m\acute{a}x}}{P_0} = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2\right] \left(1 + \frac{V_2}{V_1}\right)$$

Al sustituir los valores de P y $P_{m\acute{a}x}$, se obtiene que el mayor coeficiente de potencia alcanzable es $C_{P\ m\acute{a}x} = 0,5925$, conocido como límite de Betz:

“La máxima energía extraíble de la energía cinética del viento es un 59,25%”

ANEXO 3 PROPIEDADES DEL HIDRÓGENO:

▪ Símbolo atómico	H
▪ Número atómico	1
▪ Grupo	1
▪ Periodo	1
▪ Aspecto	incolore
▪ Bloque	s
▪ Densidad	0,0899 kg/m ³
▪ Radio medio	25 pm
▪ Radio atómico	53 pm
▪ Radio covalente	37 pm
▪ Radio de Van del Waals	120 pm
▪ Configuración electrónica	1s ¹
▪ Electrones por capa	1
▪ Estados de oxidación	1, -1
▪ Óxido	anfótero
▪ Estructura cristalina	hexagonal
▪ Estado	gaseoso
▪ Punto de fusión	14,025 K
▪ Punto de ebullición	20,268 K
▪ Punto de inflamabilidad	255 K
▪ Calor de fusión	0,05868 KJ/mol
▪ Presión de vapor	209 Pa a 23 K
▪ Temperatura crítica	23,97 K
▪ Presión crítica	1,293·10 ⁶ Pa
▪ Volumen molar	22,42·10 ⁻³ m ³ /mol
▪ Electronegatividad	2,2
▪ Calor específico	1,4303·10 ⁴ J/(K·kg)
▪ Conductividad eléctrica	- S/m
▪ Conductividad térmica	0,1815 W/(K·m)