



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO

PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO “ON-SITE” PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

**“Evaluación de las necesidades de H_2 en la 1ª FASE de
introducción del vehículo a pila de combustible y
Proyecto de central solar fotovoltaica en gasolineras
de la provincia de Valencia”**

Trabajo Final de Grado

Realizado por:

Vicente Margaix Piquer

Dirigido por:

D. Francisco Rodríguez Benito

Titulación:

GRADO EN INGENIERIA TÉCNICA INDUSTRIAL

Especialidad:

ELECTRICIDAD

1 Contenido

1	Contenido.....	2
2	MEMORIA DEL TFG.....	4
2.1	INTRODUCCIÓN.....	4
2.2	OBJETIVO.....	5
2.3	ANTECEDENTES.....	5
2.3.1	ELECTROLISIS DE AGUA.....	5
2.3.2	LA PILA DE COMBUSTIBLE.....	7
2.3.3	VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.....	10
2.3.4	HIDROGENERAS.....	13
2.4	DIMENSIONADO DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA.....	14
2.4.1	CÁLCULO DEL CONSUMO DE HIDRÓGENO.....	14
2.4.2	CÁLCULO DE REPOSTAJES PARA UNA GASOLINERA MEDIA.....	16
2.4.3	CÁLCULO DEL CONSUMO ELÉCTRICO DEL ELECTROLIZADOR.....	22
2.4.4	CÁLCULO DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA.....	24
2.4.5	ENERGIA PARA COMPRIMIR EL GAS.....	26
3	PROYECTO INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 13,5 KW.....	28
3.1	MEMORIA DEL PROYECTO.....	28
3.1.1	ANTECEDENTES.....	28
3.1.2	OBJETO DEL PROYECTO.....	28
3.1.3	TITULAR.....	29
3.1.4	SITUACIÓN.....	29
3.1.5	LEGISLACIÓN APLICABLE.....	29
3.1.6	DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	31
3.1.7	CÁLCULOS.....	35
3.1.8	DOCUMENTACIÓN TÉCNICA.....	43
3.2	PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	55
3.2.1	PARTIDAS.....	55
3.2.2	DESCOMPUESTO.....	56
3.2.3	TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL.....	58
3.2.4	TOTAL DEL PRESUPUESTO.....	58
3.3	PLANOS.....	59
4	ECONOMIA DEL HIDROGENO.....	63



4.1	CONSIDERACIONES PREVIAS	63
4.2	COSTES	66
4.2.1	COSTE DEL KWh PRODUCIDO	66
4.2.2	COSTE DEL Kg DE H ₂ PRODUCIDO Y ALMACENADO	66
4.2.3	COSTE POR CADA 100 Km RECORRIDOS CON H ₂	67
4.3	LOGÍSTICA DE LA PRIMERA FASE	69
4.4	FUTURO DE LA ENERGÍA BASADA EN EL H ₂	70
5	REFERENCIAS	72

2 MEMORIA DEL TFG

2.1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, pocos niegan el problema medioambiental producido por el exceso de emisiones contaminantes, sobre todo las de efecto invernadero como el CO₂. Incluso alguno de esos pocos que lo niegan siguen firmando tratados que les obliga a reducir emisiones y, en su caso, a pagar por los derechos de emisión de terceros países. La decisión, a nivel mundial, está tomada... ¡hay que reducir las emisiones de CO₂! y una de las principales vías y que está viendo las mayores inversiones, tanto públicas como privadas, es el sector de la automoción.

Este sector está explorando diversas vías para hacer que los automóviles sean menos contaminantes, como por ejemplo vehículos híbridos que llevan un motor eléctrico y un motor de combustión interna, sea diesel o gasolina o vehículos con motor de combustión interna cuyo combustible es el hidrógeno, o vehículos eléctricos con batería recargable, o con pila de combustible alimentadas con hidrógeno, etc... En cualquier caso, un vehículo será **cero emisiones** si la energía que lo mueve es cero emisiones, lo que implicaría que no ha habido emisiones contaminantes en su generación. Un vehículo a batería no emitirá emisiones contaminantes en el punto de funcionamiento, pero no será cero emisiones si la electricidad que recarga esa batería no lo es.

En general se acepta que el vehículo eléctrico con batería recargable es viable en circulación urbana, mientras que para grandes recorridos sería preferible el vehículo eléctrico alimentado por una pila de combustible, por su mayor autonomía y rapidez de recarga.

Entre los años 2005 y 2010, multitud de entidades regionales, nacionales, europeas y mundiales, tanto a nivel público como privado pronosticaron, basándose en el avance tecnológico, que en el año 2015 se haría realidad la comercialización de vehículos “cero emisiones” empujados por motores eléctricos alimentados por **pilas de combustible**.

En esos años multitud de fabricantes de automóviles de turismo, entre ellos los fabricantes americanos: Ford, Chrysler y General Motors, o los productores europeos: Peugeot, Renault, Mercedes, BMW, etc., o los japoneses: Honda, Mazda, Nissan y Toyota, tenían proyectos muy avanzados, incluso vehículos comercializados como el Clarity FCX de Honda, que a base de pisar el asfalto estaban demostrando la viabilidad de esta tecnología. A éstos, se les han ido uniendo un largo etcétera de fabricantes de todo el mundo en esta segunda década del siglo XXI.

En opinión de todos los implicados, la tecnología está lo suficientemente desarrollada como para iniciar la producción en serie. Evidentemente, contando con que se trata de una tecnología en fase de introducción, seguirá evolucionando para mejorar rendimientos y reducir costes hasta llegar a poder competir con las actuales tecnologías contaminantes. Sin embargo la **“pescadilla se muerde la cola”**... no se inicia la producción porque no hay una red de distribución de hidrógeno que asegure los repostajes y las empresas suministradoras de combustible no instalan **hidrogeneras** en su red porque no tienen la demanda suficiente.

Si las entidades privadas no dan el paso deberán ser las públicas las que lo den. Interesa reducir la dependencia energética que actualmente se tiene de los combustibles fósiles y de los pocos países

productores, además de reducir las emisiones contaminantes que se derivan del uso de estos combustibles.

Habrá que regular.

2.2 OBJETIVO

Intentar deshacer el actual círculo vicioso.

Estudiar la viabilidad de suministrar hidrógeno en la red actual de gasolineras, en la primera fase de introducción del vehículo con pila de combustible alimentada con este gas.

Demostrar que se puede producir hidrógeno en las actuales gasolineras, “*in situ*”, a un precio lo suficientemente competitivo.

Desarrollar un proyecto de instalación de una pequeña central fotovoltaica con seguimiento a dos ejes, adaptable a cualquier gasolinera, que genere la suficiente electricidad para alimentar un **electrolizador comercial** dimensionado para producir el hidrógeno gaseoso necesario para abastecer la demanda inicial.

Desarrollar un sistema de seguimiento a dos ejes económico basado en materiales y automatismos de uso habitual ya comercializados, para que el incremento de energía eléctrica, estimado en un 40% respecto de una instalación fija, haga que el coste de generación de hidrógeno por electrolisis sea lo suficientemente competitivo.

Secundariamente se estimará, bajo varios supuestos, qué demanda de H₂ deberá cubrir una hidrogenera media de la Provincia de Valencia, y en base a este dato dimensionar la central solar fotovoltaica.

2.3 ANTECEDENTES

2.3.1 ELECTROLISIS DE AGUA

Aunque el hidrógeno lo descubrió Paracelso en el siglo XVI y Cavendish quien lo redescubrió en 1766 como un aire inflamable que al quemarse producía agua, fue A. Lavoisier, pocos años después, quien lo identificó como un nuevo elemento al que denominó Hidrógeno (generador de agua), por producir agua en su combustión.

No hubo que esperar mucho tiempo desde que Alessandro Volta inventara la pila y lo comunicara el 20 de marzo de 1800 a la Royal Society, para que dos ingleses, Nicholson y Carlisle, en mayo de ese mismo año produjeran la primera electrolisis del agua sin que realmente supieran el significado del burbujeo producido por el paso de la corriente eléctrica por el agua.

Fue Faraday quien, en 1834, dio una explicación a estos hechos. Y lo hizo por medio de las dos leyes que llevan su nombre.

Básicamente el proceso es el mostrado en la siguiente figura...

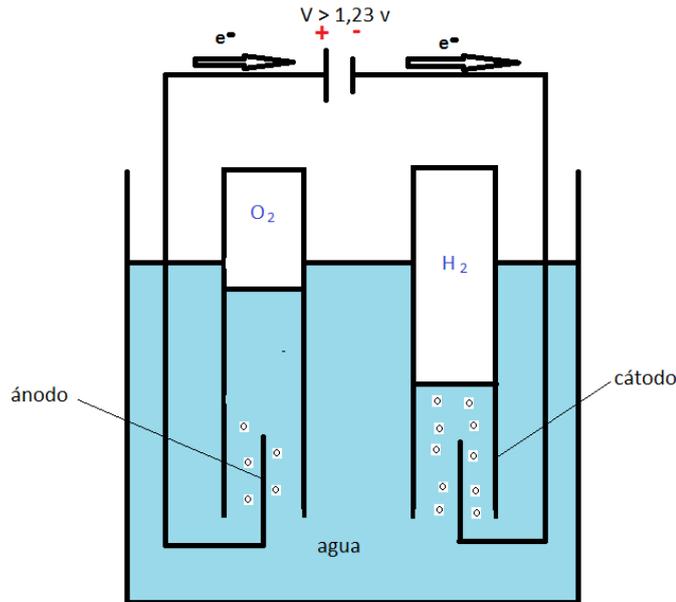


Figura 1: Esquema de un proceso de hidrólisis del agua

La reacción global produce 2 moléculas de H_2 por cada molécula de O_2 .

En su primera ley se refiere a la proporcionalidad entre la masa de la sustancia depositada o liberada en un electrodo y la cantidad de corriente eléctrica que ha pasado por el electrolito. La expresa...

$$m = \frac{M_a}{Z * F} * Q \quad \text{Ecuación: 1}$$

m = masa depositada o liberada de la sustancia en gramos

M_a = masa atómica del elemento en gramos por mol

Z = número de electrones intercambiados por mol

F = constante de Faraday en culombios por mol de electrones (96485 C/mol e^-)

Q = Carga circulante en culombios

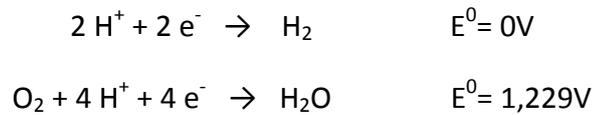
Conocidas las relaciones...

- $W_{el} = V * i * t$ (J)
- $n = \frac{m}{M_a}$ (moles)
- $Q = i * t$ (C)
- $n_{e^-} = n * Z$ (moles de e^-)

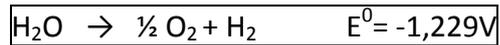
Podemos llegar fácilmente a la siguiente igualdad...

$$W_{el} = n_{e^-} * F * E$$
 (J) Ecuación: 2

Que es la energía eléctrica necesaria, en Julios, para separar el agua en sus dos componentes gaseosos, donde "E" es el potencial eléctrico (V) a aplicar. Este potencial se puede obtener por medio de los potenciales estándar de reducción de las dos reacciones:



Y para la reacción de oxidación-reducción:



Que sería el potencial mínimo a aplicar (de ahí el signo negativo) para que se diera la reacción.

En realidad el potencial a aplicar se sitúa entre 1,6 y 1,8 V puesto que hay que tener en cuenta las resistencias, sobre todo las del electrolito.

Esta reacción se puede realizar en medio ácido o en medio básico. En un caso la carga que se desplazaría sería el ion H^+ y en el otro caso el ión OH^- .

Hoy, la electrolisis de agua más eficiente se realiza con electrolizadores PEM (Protón Exchange Membrane) en el que el portador de carga es el H^+ que pasa a través de una membrana polimérica desde el ánodo al cátodo donde captará los 2 electrones para formar el hidrógeno gaseoso. Se trata de la misma tecnología de las pilas de combustible. Estos electrolizadores requieren un potencial de celda de aproximadamente **1,7 V** que variará ligeramente según la tecnología del fabricante.

2.3.2 LA PILA DE COMBUSTIBLE

Se denomina pila de combustible a toda aquella batería que es capaz de suministrar energía eléctrica de forma constante mientras se le inyecte un combustible.

En 1842 William R. Grove, desarrolló la primera pila voltaica de gas, con hidrógeno y oxígeno, demostrando así que el proceso de electrolisis del agua era reversible y por ello se le considera el padre de la *pila de combustible*. "On the Gas Voltaic Battery" (1839)

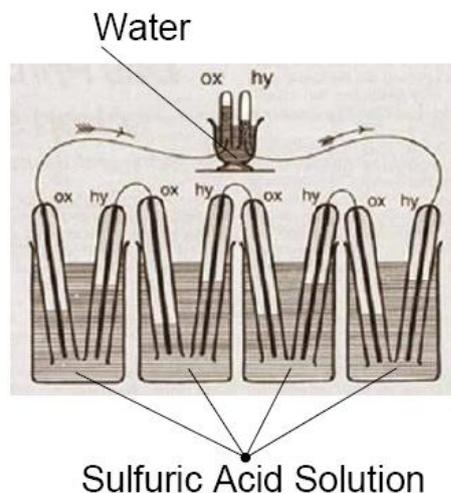


Figura 2: Esquema de la batería voltaica de gas de W. R. Grove de 1839

En 1889, Ludwig Mond y Charles Langer, utilizan por primera vez el nombre de **pila de combustible**.

Fue Francis Thomas Bacon, en 1954, el primero en construir una pila de alta potencia y a partir de ésta se diseñaron las pilas de combustible de hidrógeno del programa espacial de Estados Unidos de los años 60, y que permitieron suministrar electricidad y agua, ésta como residuo de la reacción, a los tripulantes durante los vuelos espaciales.

En la actualidad hay varios tipos de pilas de combustible, ampliamente desarrolladas, que difieren tanto en el combustible utilizado como en el electrolito. En referencia a éste se clasifican en:

- Pilas de combustible de membrana de intercambio protónico PEMFC (hidrógeno y oxígeno).
- Pilas de combustible de metanol directo DMFC (metanol).
- Pilas de combustible alcalinas AFC (hidrógeno y oxígeno puros).
- Pilas de combustible de ácido fosfórico PAFC (hidrocarburos, biogás).
- Pilas de combustible de carbonato fundido MCFC (gases del carbón).
- Pilas de combustible de óxido sólido SOFC (gas natural, gasolina).

2.3.2.1 PILAS PEM

Las pilas PEM de membrana polimérica, reciben este nombre por utilizar membranas como el **nafion**[®], polímero perfluorosulfonado con ramificaciones de grupos sulfonato, como electrolito. Son grupos que tienen una alta afinidad por los protones pero requieren estar muy hidratados sin llegar a “mojar” los electrodos. Esto requiere un control de la humedad del gas para mejorar la vida de las membranas y su rendimiento en cuanto a la permeabilidad protónica se refiere.

Actualmente hay infinidad de líneas de investigación para mejorar estas membranas, una de ellas está en la UPV. La dirige la Dra. Amparo Ribes Greus y se centra en las propiedades de cristales líquidos poliméricos como membranas selectivas al paso de los H⁺.

El combustible de estas pilas es hidrógeno puro y oxígeno del aire.

Sus principales características son:

- ✓ Densidad energética elevada (cantidad de energía por superficie de celda)
- ✓ Rápida respuesta a demandas bruscas de potencia
- ✓ Ligeras
- ✓ Funcionamiento a baja temperatura (80 °C)
- ✓ Tamaño pequeño

Estas características las hacen ideales para su uso en automoción.

En la siguiente figura se esquematiza el funcionamiento de una única celda. La pila de combustible llevará las unidades necesarias en serie y en paralelo para obtener la potencia requerida.

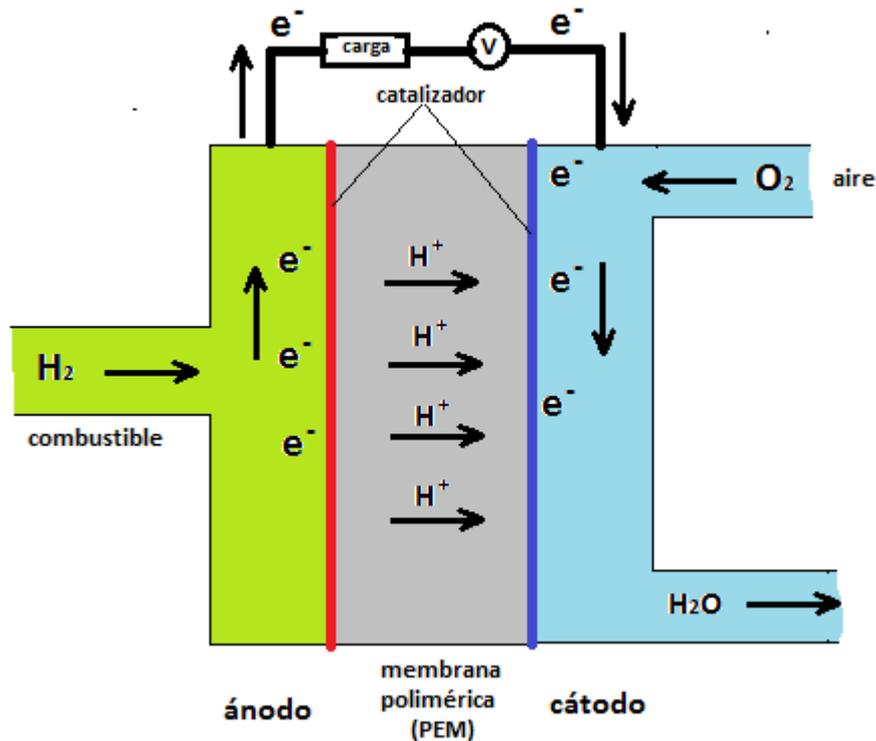


Figura 3: Esquema de una pila PEM de H₂

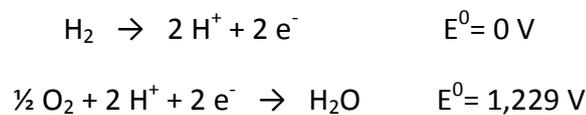
En ella se producen las reacciones que liberan los electrones y generan agua como residuo.

Y esas reacciones son exactamente las mismas que se dan en la generación de hidrógeno con el electrolizador descrito en el apartado anterior, pero en sentido contrario...

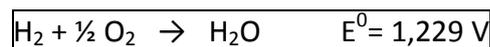
En el ánodo (-) se oxidará el H₂ perdiendo los e⁻, mientras en el cátodo (+) se reducirá el oxígeno ganando los e⁻.

Cambian los signos de ánodo y cátodo que ahora son negativo y positivo respectivamente, al contrario que en el electrolizador.

Las semi-reacciones que se dan en una y otra parte de la membrana son:



Y la reacción global es:



La única diferencia respecto del electrolizador es el signo positivo de esta última, puesto que la energía la da el sistema.

Al igual que ocurría con el electrolizador, hay una variación importante de la tensión teórica respecto de la real que se obtendrá al alimentar la carga. Esa tensión de salida depende de factores como la

temperatura, la presión parcial de los gases, la calidad de los electrodos, la conductividad protónica del electrolito, etc... Además, variará con la demanda energética.

Es habitual caracterizar las pilas de combustible por medio de una curva de polarización. En ella se representa el voltaje de celda respecto de la densidad de corriente...

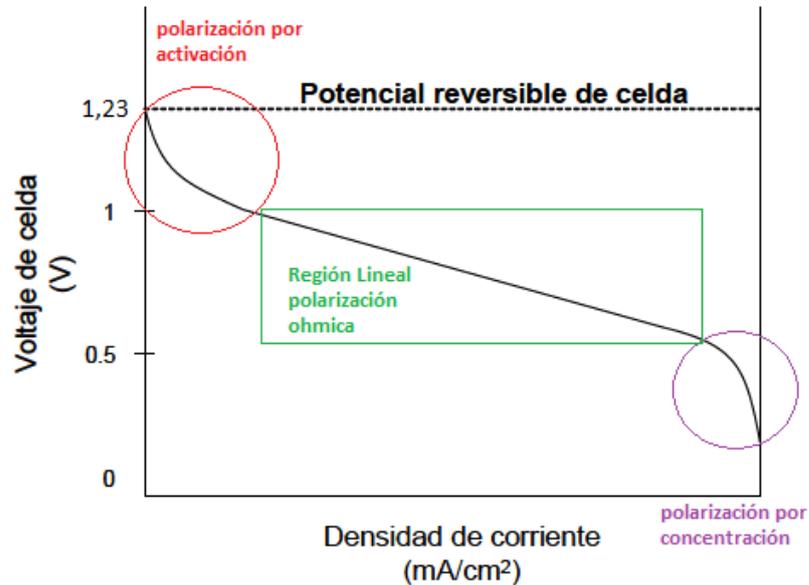


Figura 4: Voltaje de celda según la demanda energética

En circuito abierto la tensión de salida se sitúa prácticamente en la teórica, pero al aplicar una carga, por mínima que ésta sea, el potencial cae rápidamente (región de polarización por activación), para entrar en una región lineal entre 1V y 0,5V (polarización óhmica), en que el potencial suministrado es inversamente proporcional a la densidad de corriente.

En general se pueden realizar cálculos basándose en tensiones de salida de **0.7V** (dentro de la región lineal), aunque seguramente se irán mejorando con el avance tecnológico en las múltiples líneas de investigación, incluida la de la propia membrana, que a buen seguro mejorará considerablemente la permeabilidad y selectividad protónica y con ellas el rendimiento de la pila de combustible para ir, paso a paso, acercándose a rendimientos cada vez más próximos al teórico.

$$\eta_{ideal} = \frac{W_{el-ideal}}{\Delta H_{reac}} = \frac{\Delta G_{reac}}{\Delta H_{reac}} = \frac{237,1 \frac{kJ}{mol}}{285,8 \frac{kJ}{mol}} = 0.83$$

2.3.3 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

En el mercado, existen multitud de vehículos eléctricos comercializados cuyos motores están alimentados tanto por baterías recargables como por pilas de combustible.

La lista sería interminable si tomamos los alimentados por batería recargable o enchufable a red, y algo menor para vehículos con pila de combustible, pero en ambos casos la tecnología está en la calle y se puede acceder a ella desde internet, expuesta por los distintos productores.

Por ejemplo:

Datos técnicos del BMW

www.bmw.es/home/vehiculos/BMW/i3/2013/datasheet0.html

MI BMW Configura tu BMW Vehículos Ocasión Concesionarios BMW Corporate

Home 1 2 3 4 5 6 7 X Z4 M BMW i Promociones Financiación Propietarios Mundo BMW

Bienvenido a BMW. > Iniciar sesión

DATOS TÉCNICOS

BMW i3

- > Ahora, Tú decides
- > Presentación
- > Diseño
- > Motor
- > Recarga
- > Conectividad
- > Seguridad
- > Accesorios y servicios
- > Financiación y seguros
- > Cómo comprar
- > Imágenes y vídeos
- > Datos técnicos
- > #BMWi3DRIVERS

Consumo

Consumo de energía eDrive en kWh/100 km	- [12.9]	Motor eléctrico. Potencia máxima en KW (CV)	125 (-)
Emissiones de CO ₂ en g/km	- [0.0]	Motor eléctrico. Par máximo en Nm	250

eDrive

Motor eléctrico. Potencia máxima en KW (CV) 125 (-)

Motor eléctrico. Par máximo en Nm 250

Cómo comprarlo

Punto Exclusivo de Venta BMW i | Catálogos y Precios | Solicitar una oferta | Configurar ahora

Solicitar una prueba de conducción

Imagen web 1: del modelo eléctrico i3 de BMW a batería recargable

9_FCX_Clarify_Honda.pdf - Adobe Acrobat Pro

Archivo Edición Ver Ventana Ayuda

Crear

15 / 29

77.8%

Herramientas Firmar Comentario

HONDA

FCX Clarity: Características

Dimensiones: 4,835x1,845,x1,470 mm

Peso: 1.625 kg

Vel. Máx. / autonom.: 160 km/h / 460 km

Capacidad / presión dep: 171 l. / 35 Mpa.

Potencia máxima: 100 KW (136HP)

Par máximo: 256 NM (26,1 Kg/m)

Almacenamiento Energía: Batería Ion Litio

Tiempo de Repostaje: 3 – 4 minutos

Imagen web 2: del modelo FCX Clarity de Honda a hidrógeno

La primera imagen es de la web de BMW y se trata de un coche con motor eléctrico de 125 kW alimentado por batería recargable, mientras que la segunda imagen está obtenida de la web de HONDA, y se trata de un vehículo con motor eléctrico de 100 kW alimentado por batería de combustible y un depósito de hidrógeno de 171 litros a 35Mpa (unas 350 atm).

2.3.3.1 MOTORES ELÉCTRICOS

Los motores eléctricos están de sobra experimentados, y la variedad de potencia y tensiones de alimentación son casi innumerables.

Los siguientes son dos ejemplos representativos: el primero es 100% eléctrico y el segundo híbrido.

Disponibilidad: **En venta**
* Precio desde: **35.500,00 €**

MOTOR, PRESTACIONES Y CONSUMO	
Motor eléctrico	Motor eléctrico 85 kW refrigerado por agua
Tipo de corriente	AC Corriente alterna
Potencia máxima CV	116 CV
Potencia máxima kW/rpm	85@12.000 kW/rpm
Par máximo	270@3.000-12.000 Nm/rpm
Tensión nominal	323 V
Velocidad máxima	140 km/h
Aceleración de 0-100 km/h	10,4 s
Consumo eléctrico	127 Wh/km
Autonomía NEDC	190 km

TRANSMISIÓN	
Tracción	Delantera
Tipo de embrague	Sin embrague

Que usuarios tienen uno

Lo tengo

Coches eléctricos de Volkswagen

Más coches eléctricos compactos

Imagen de web 3: Motor a 323V del e-Golf

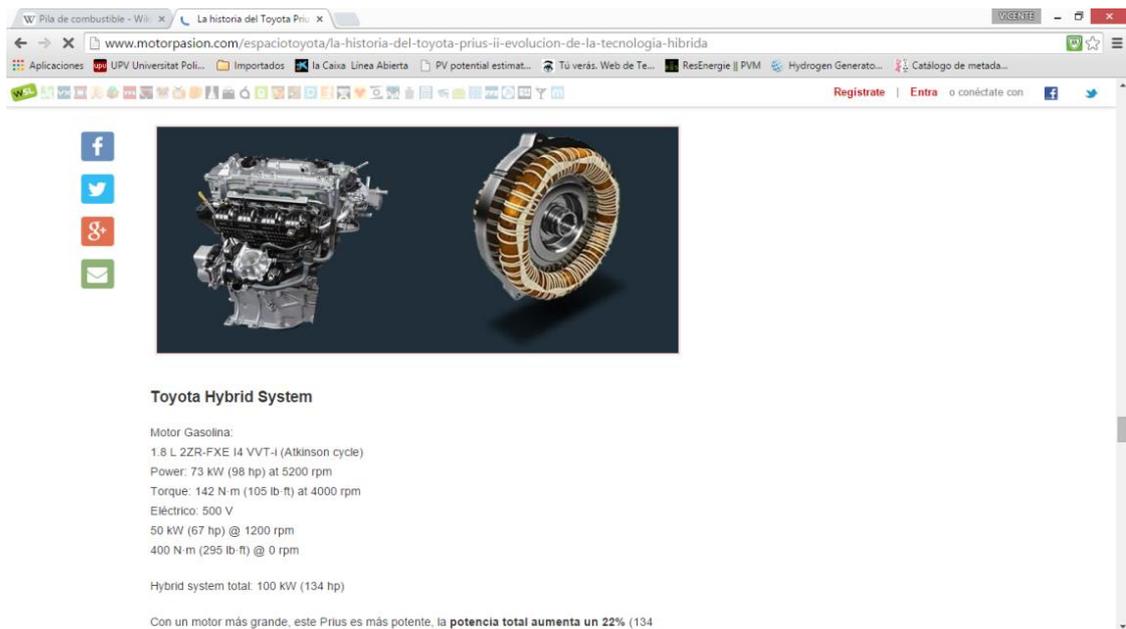


Imagen web 4: Motor a 500V de un Híbrido de Toyota

En las distintas webs de fabricantes de automóviles eléctricos o híbridos se pueden encontrar motores con tensiones de alimentación entre 240 y 500V.

2.3.4 HIDROGENERAS

También se tiene experiencia en el suministro de hidrógeno en las estaciones de servicio habituales.

De hecho, aunque están más extendidas en países como Alemania, EEUU, Canadá, etc..., también se pueden encontrar en nuestro país, aunque sea de forma experimental.



Imagen de web 5: hidrogena en Zaragoza con producción propia por electrolisis

Se inauguró en 2008 para la Expo del Agua de Zaragoza, y aunque no está operativa actualmente, era capaz de producir un mínimo de 15 kg diarios de hidrógeno al 99,99% de pureza (pureza electrolítica).

2.4 DIMENSIONADO DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA

Para calcular el suministro de energía eléctrica que debe aportar una mini central fotovoltaica instalada en una gasolinera media de la provincia de Valencia y que genere la electricidad que consuma el electrolizador, debemos tener en cuenta...

- El consumo medio de hidrógeno por automóvil comparado con el consumo medio de automóviles a gasoil o gasolina.
- El número de vehículos, que repostarán diariamente en una gasolinera media de la provincia de Valencia, empujados por motor eléctrico alimentado por pila PEM.
- Las necesidades de generación de hidrógeno en una gasolinera media de la provincia de Valencia calculadas a partir del suministro actual de combustibles fósiles.
- El consumo energético de un electrolizador que cubra las necesidades medias de suministro de hidrógeno.
- Adaptar la demanda a la producción fotovoltaica según estacionalidad para un correcto dimensionado.

2.4.1 CÁLCULO DEL CONSUMO DE HIDRÓGENO

El consumo medio de un vehículo eléctrico alimentado por pila de combustible se puede obtener teóricamente, pero habría que conocer muchos datos y simular consumos en arranques y aceleraciones, consumos a velocidad constante, coeficiente de rozamiento con el suelo, con el aire, capacidad de regeneración, etc... Además de no ser objeto de este proyecto, sería un ejercicio teórico largo y tedioso, propio de otros Grados y cuyo resultado podría diferir bastante del real.

Para este cálculo se toma como base el consumo de un vehículo 100% eléctrico ya comercializado y que, probablemente, sea el de mayor éxito de la historia de la automoción europea. Se trata del eGOLF del fabricante alemán Volkswagen y que podemos ver en su página Web...

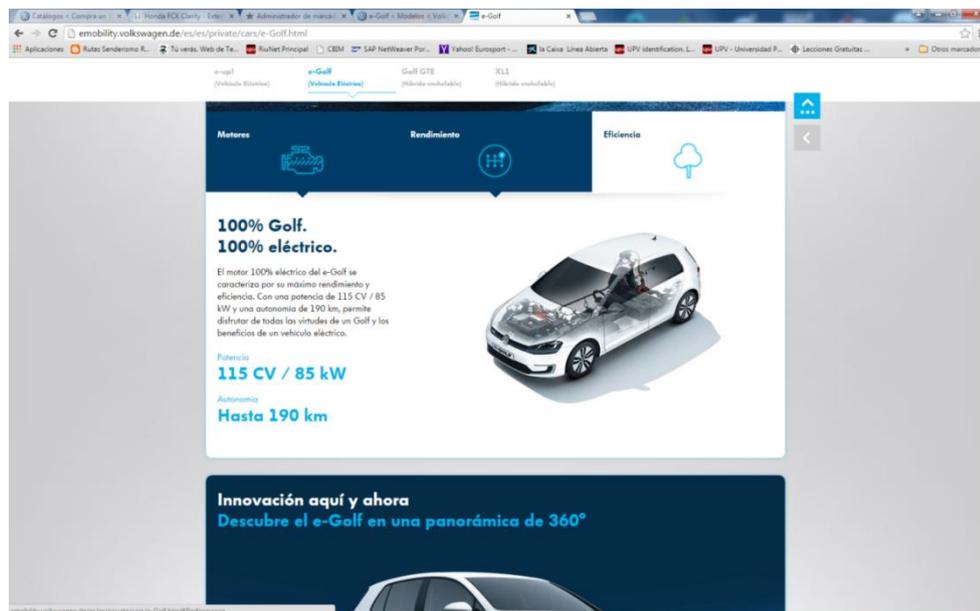


Imagen web 6: Potencia suministrada por el motor eléctrico del Golf.

Este modelo alimenta su motor eléctrico de 85 kW de una batería recargable y no de una batería de combustible, lo que no supone ningún problema para nuestro objetivo de cálculo de consumos.

Ese dato lo proporciona el mismo fabricante en su web como se puede ver en la siguiente imagen...

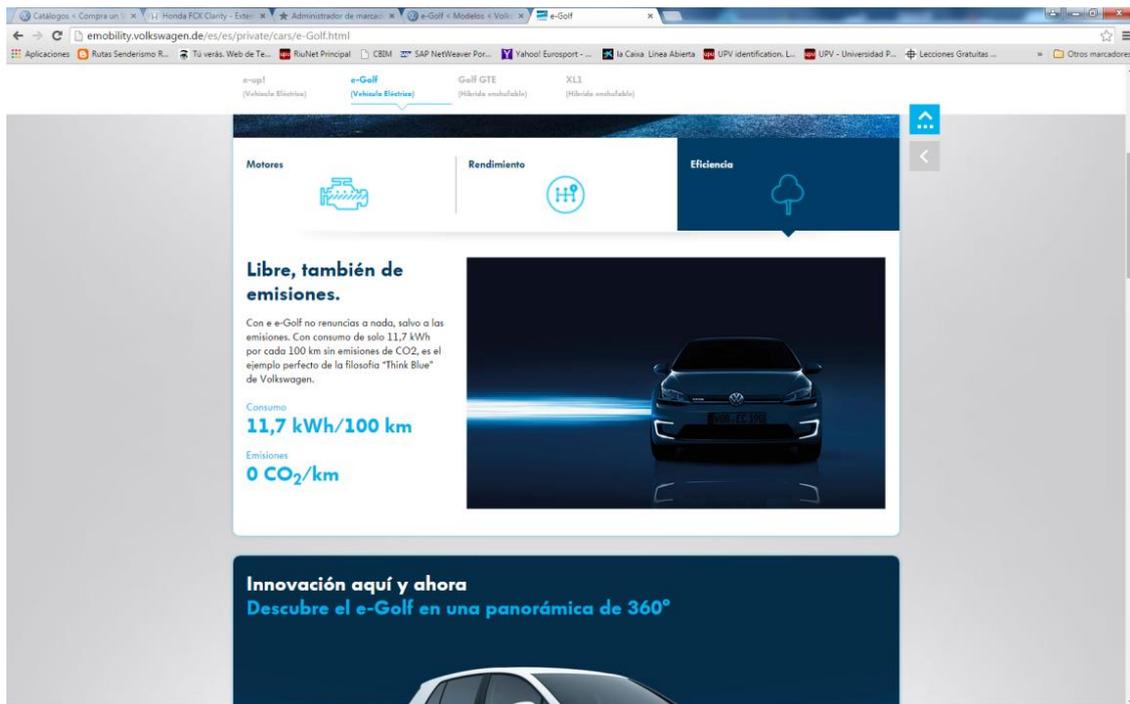


Imagen web 7: Consumo energético del e-Golf según VW

El consumo viene expresado en kWh cada 100 km recorridos por lo que no será difícil calcular el consumo de hidrógeno que requerirá una pila de combustible que proporcione esa misma potencia máxima.

2.4.1.1 ENERGÍA ELÉCTRICA PRODUCIDA POR LA PILA DE COMBUSTIBLE

Tal como vimos en la ecuación 2

$$W_{el} = n * F * E$$

$n = 2$ moles de e^- por mol de H_2 que intervienen en la reacción: $H_2 \rightarrow 2 H^+ + 2 e^-$

$F = 96485$ (C/mol e^-) culombios por mol de e^- (Constante de Faraday)

$E = 0,7$ V (potencial real de la pila con carga).

$$W_{el} = n * F * E = 2 \frac{mol e^-}{mol H_2} * 96485 \frac{C}{mol e^-} * 0.7 V = 135079 \frac{C * V}{mol H_2}$$

Y dada la equivalencia... 1 Julio = 1 culombio * 1 voltio

$$W_{el} = 135079 \frac{J}{mol H_2}$$

Energía eléctrica producida por mol de hidrógeno (cada 2 gramos)

2.4.1.2 COMBUSTIBLE CONSUMIDO POR EL e-GOLF DE 115 CV (85 kW)

El motor, según especificaciones del fabricante tiene un consumo de 11,7 kWh cada 100 km, pero otras fuentes consultadas indican que el consumo homologado es de 12,7 kWh a los 100 km, que convertidos a Julios:

$$12,7 \frac{kWh}{100km} * 1000 \frac{w}{kW} * 3600 \frac{s}{h} = 45.72x10^6 (W * s) = 45.72x10^6 (Jul/100km)$$

El consumo por cada 100 km recorridos será:

$$consumo = \frac{45.72x10^6 \frac{J}{100 km}}{135079 \frac{J}{mol H_2}} = 338.47 \frac{mol H_2}{100km} * 2 \frac{gr H_2}{mol H_2} = 676.9 \frac{gr H_2}{100 km}$$

Este vehículo consume menos de 0.7 kg de hidrógeno cada 100 km.

2.4.2 CÁLCULO DE REPOSTAJES PARA UNA GASOLINERA MEDIA

El Proyecto sólo va a considerar a los automóviles de turismo para el cálculo de las necesidades energéticas de una hidrogenera media, porque son los vehículos que, con una simple decisión política, mañana podrían estar produciéndose a gran escala. Y es que hoy no hay prácticamente ningún fabricante importante europeo, asiático o americano, que no tenga una línea de producción de turismos eléctricos, pero con batería recargable.

2.4.2.1 PARQUE DE VEHÍCULOS DE TURISMO

De la Dirección General de Tráfico, <http://www.dgt.es/es/explora/en-cifras/parque-de-vehiculos.shtml>, se pueden obtener los datos de matriculaciones anuales, para poder calcular el recambio del parque automovilístico, y el parque total de vehículos. Estos datos nos servirán para, con distintos supuestos de penetración del vehículo a hidrógeno, calcular las necesidades productivas de H₂ en el punto de suministro. La distribución entre gasoil y gasolina es:

PARQUE DE VEHICULOS TURISMO ESPAÑA					
AÑO	GASOLINA	%	GASOLEO	%	TOTAL
2000	12.746.971	73,05%	4.702.264	26,95%	17.449.235
2001	12.795.735	70,50%	5.355.145	29,50%	18.150.880
2002	12.728.713	67,95%	6.003.919	32,05%	18.732.632
2003	12.095.876	64,72%	6.592.444	35,28%	18.688.320
2004	12.035.097	61,59%	7.506.821	38,41%	19.541.918
2005	11.815.652	58,35%	8.434.725	41,65%	20.250.377
2006	11.667.433	55,43%	9.380.284	44,57%	21.047.717
2007	11.500.323	52,86%	10.255.430	47,14%	21.755.753
2008	11.344.609	51,24%	10.796.625	48,76%	22.141.234
2009	10.900.655	49,59%	11.079.034	50,41%	21.979.689
2010	10.677.003	48,22%	11.466.842	51,78%	22.143.845
2011	10.510.112	47,19%	11.763.255	52,81%	22.273.367
2012	10.305.113	46,33%	11.937.569	53,67%	22.242.682
2013	9.956.308	45,22%	12.061.601	54,78%	22.017.909

Tabla 1: Parque automovilístico en 2013 (55% gasóleo vs 45% gasolina)

Aunque en los últimos años el número de matriculaciones anual (renovación) ha descendido hasta los 750.000 vehículos, ha habido años en los que se alcanzó el millón de turismos matriculados, así pues una buena estimación, creo, estaría en suponer que de los poco más de 22 millones de turismos que circulan en la actualidad (el cálculo parte de 22.100.000), se renovarían alrededor de 1 millón, con una tasa de crecimiento anual del 0,5%, aunque actualmente hay un decrecimiento debido a la situación de crisis.

Se analiza la repercusión que tendría sobre el total de turismos en circulación, 3 posibles tasas de introducción de vehículos eléctricos alimentados por pila de combustible, que van del 1,5% anual inicial más un crecimiento del 10% interanual (Tasa Baja), y que supondría incorporar al mercado unos 15.000 turismos de este tipo el primer año, alcanzando a los 10 años unos 240.000 automóviles circulando, hasta una (Tasa Alta) con un 5% inicial y crecimientos interanuales del 20%, que llevaría a suministrarse 50.000 vehículos el primer año y casi 1.300.000 circulando al 10º año.

RENOVACION=	1.000.000	TASA BAJA=1,5%+10%anual			TASA MEDIA=3%+15%anual			TASA ALTA=5%+20% anual		
CTO=0,5%	TOTAL VEHICULOS	V-H ₂ AÑO	V-H ₂ TOTAL	%	V-H ₂ AÑO	V-H ₂ TOTAL	%	V-H ₂ AÑO	V-H ₂ TOTAL	%
AÑO 1	22.100.000	15000	15000	0,07%	30000	30000	0,14%	50000	50000	0,23%
AÑO 2	22.210.500	16500	31500	0,14%	34500	64500	0,29%	60000	110000	0,50%
AÑO 3	22.321.553	18150	49650	0,22%	39675	104175	0,47%	72000	182000	0,82%
AÑO 4	22.433.160	19965	69615	0,31%	45626	149801	0,67%	86400	268400	1,20%
AÑO 5	22.545.326	21962	91577	0,41%	52470	202271	0,90%	103680	372080	1,65%
AÑO 6	22.658.053	24158	115734	0,51%	60341	262612	1,16%	124416	496496	2,19%
AÑO 7	22.771.343	26573	142308	0,62%	69392	332004	1,46%	149299	645795	2,84%
AÑO 8	22.885.200	29231	171538	0,75%	79801	411805	1,80%	179159	824954	3,60%
AÑO 9	22.999.626	32154	203692	0,89%	91771	503575	2,19%	214991	1039945	4,52%
AÑO 10	23.114.624	35369	239061	1,03%	105536	609112	2,64%	257989	1297934	5,62%

Tabla 2: Turismos a H₂ incorporados anualmente al parque automovilístico

Como todo esto depende de decisiones políticas, si la decisión de reducir emisiones de CO₂ fuera drástica, se podría pensar incluso en una Tasa Muy Alta...

RENOVACION=	1.000.000	TASA MUY ALTA=10%+20%anual		
CTO=0,5%	TOTAL VEHICULOS	V-H ₂ /AÑO	V-H ₂ /TOTAL	%
AÑO 1	22.100.000	100000	100000	0,45%
AÑO 2	22.210.500	120000	220000	0,99%
AÑO 3	22.321.553	144000	364000	1,63%
AÑO 4	22.433.160	172800	536800	2,39%
AÑO 5	22.545.326	207360	744160	3,30%
AÑO 6	22.658.053	248832	992992	4,38%
AÑO 7	22.771.343	298598	1291590	5,67%
AÑO 8	22.885.200	358318	1649908	7,21%
AÑO 9	22.999.626	429982	2079890	9,04%
AÑO 10	23.114.624	515978	2595868	11,23%

Tabla 3: Tasa con elevada producción de turismos a H₂

En esta última situación, que actualmente no sería posible porque los productores no tienen la infraestructura para cambiar el modelo productivo a tan gran escala, estaríamos en el supuesto de que en el primer año se incorporarían al parque automovilístico unos 100.000 turismos a H₂, y 10 años después, la mitad de los turismos comercializados, estarían alimentados por este combustible, lo que nos llevaría a tener en circulación más de 2,5 millones de automóviles a H₂ a los 10 años.

2.4.2.2 CONSUMO DE H₂ RESPECTO CONSUMO HIDROCARBUROS

Para calcular las necesidades de suministro de una gasolinera media de la provincia de Valencia y así dimensionar la central fotovoltaica, es preciso conocer el consumo actual de hidrocarburos “HC” y en base a éste, calcular la producción in situ necesaria de H₂.

En la web de la Comisión Nacional de la Energía, ahora “CNMC”, (<http://www.cne.es/>) se puede obtener los datos de consumo de carburantes (HC) del informe de noviembre de 2013.

Filtramos los datos para la provincia de Valencia de los 12 últimos meses del informe...

CONSUMO EN Tm					
AÑO	MES	PROVINCIA	GASÓLEO A	GASOLINA AUTO. S/PB 95 I.O.	GASOLINA AUTO. S/PB 98 I.O.
2012	septiembre	VALENCIA	81.842	17.207	705
2012	octubre	VALENCIA	89.659	18.193	528
2012	noviembre	VALENCIA	90.127	17.075	556
2012	diciembre	VALENCIA	89.867	18.613	747
2013	enero	VALENCIA	88.046	15.899	438
2013	febrero	VALENCIA	84.545	15.355	473
2013	marzo	VALENCIA	91.126	17.393	585
2013	abril	VALENCIA	91.310	17.355	577
2013	mayo	VALENCIA	95.049	17.744	612
2013	junio	VALENCIA	90.532	17.713	637
2013	julio	VALENCIA	101.983	21.224	795
2013	agosto	VALENCIA	90.420	20.125	842

Tabla 4: Consumo de carburantes Set2012-Ago2013 en la provincia de Valencia

El consumo de gasolina lo tomaremos directamente de la fuente sumando las columnas de 95 y 98 octanos, puesto que no hay vehículos industriales que consuman gasolina, y despreciando el consumo de motocicletas y otros, mientras que el dato de gasoil se ha de ponderar respecto de la gasolina para no contar con el consumo de gasoil de los vehículos industriales.

El cálculo será multiplicar el consumo de gasolina por el factor de relación (turismos gasoil/turismos gasolina) y por el factor de relación de consumos (consumo gasoil/ consumo gasolina) para obtener el consumo de los turismos a gasoil.

$$\text{consumo gasoil} = \text{consumo gasolina} * \frac{\text{turismos gasoil}}{\text{turismos gasolina}} * \frac{\text{consumo gasoil}}{\text{consumo gasolina}}$$

Para ello se estima que el consumo medio de un turismo a gasoil es de unos 4,5 l/100 km mientras que el de un turismo a gasolina es de unos 6 l/100 km (relación 4,5/6). Y que la relación entre turismos a gasoil/gasolina es de 55/45.

Obtenido el consumo diario de gasoil y gasolina, dividimos el dato por las 586 gasolineras que actualmente están en servicio en la provincia de Valencia para obtener el consumo medio por gasolinera.

CONSUMO EN Tm								
AÑO	MES	PROVINCIA	GASOLINA AUTO. S/PB 95 I.O.	GASOLINA AUTO. S/PB 98 I.O.	GASOLEO A calculado	consumo mes	consumo dia	consumo gasolinera y dia
2012	septiembre	VALENCIA	17.207	705	16.419	34332	1144	1,953
2012	octubre	VALENCIA	18.193	528	17.161	35882	1157	1,975
2012	noviembre	VALENCIA	17.075	556	16.162	33793	1126	1,922
2012	diciembre	VALENCIA	18.613	747	17.747	37108	1197	2,043
2013	enero	VALENCIA	15.899	438	14.976	31313	1010	1,724
2013	febrero	VALENCIA	15.355	473	14.509	30337	1083	1,849
2013	marzo	VALENCIA	17.393	585	16.480	34458	1112	1,897
2013	abril	VALENCIA	17.355	577	16.438	34370	1146	1,955
2013	mayo	VALENCIA	17.744	612	16.826	35182	1135	1,937
2013	junio	VALENCIA	17.713	637	16.821	35172	1172	2,001
2013	julio	VALENCIA	21.224	795	20.184	42203	1361	2,323
2013	agosto	VALENCIA	20.125	842	19.220	40187	1296	2,212

Tabla 5: consumo diario por gasolinera debido a turismos

Una gasolinera media de la provincia de Valencia viene a consumir diariamente unos 2000 kg de combustible fósil (gasóleo A, gasolina de 95 y gasolina de 98).

Y para cálculos anuales, el consumo de HC para una gasolinera media de Valencia es:

CONSUMO EN Tm						
AÑO	MES	GASOLINA AUTO. S/PB 95 I.O.	GASOLINA AUTO. S/PB 98 I.O.	GASOLEO A calculado	provincia valencia	consumo por gasolinera
2012	septiembre	17.207	705	16.419	34.332	58,586
2012	octubre	18.193	528	17.161	35.882	61,232
2012	noviembre	17.075	556	16.162	33.793	57,666
2012	diciembre	18.613	747	17.747	37.108	63,324
2013	enero	15.899	438	14.976	31.313	53,435
2013	febrero	15.355	473	14.509	30.337	51,770
2013	marzo	17.393	585	16.480	34.458	58,801
2013	abril	17.355	577	16.438	34.370	58,652
2013	mayo	17.744	612	16.826	35.182	60,038
2013	junio	17.713	637	16.821	35.172	60,020
2013	julio	21.224	795	20.184	42.203	72,019
2013	agosto	20.125	842	19.220	40.187	68,578
TOT ANUAL=		213.897	7.495	202.943	424.335	724,121

Tabla 6: consumo anual de hidrocarburos por gasolinera

Ambas tablas (5 y 6) nos indican los consumos medios de hidrocarburos diarios y anuales que nos permitirán, convirtiendo a su equivalente en masa de hidrógeno calcular la energía necesaria para producir hidrógeno electrolítico, cuya pureza supera el 99%, en el caso de que todos los vehículos no industriales estuvieran alimentados por este gas.

Estos valores deberán adaptarse a las cuotas de penetración que vayan adquiriendo estos vehículos en el parque automovilístico.

2.4.2.2.1 Relación de consumos en masa HC/H₂

Será necesario obtener la relación en masa del consumo entre hidrocarburos, gasoil y gasolina combinados e hidrógeno, para calcular el hidrógeno que deberá producirse en una gasolinera media a partir de los datos de consumo de los primeros.

Consumo vehículo de 85 kW (115 CV)			
	consumo (l/100km)	densidad (g/l)	consumo kg/100 km
gasoil	4,5	832	3,744
gasolina	6	750	4,500
HC	5,175	795,1	4,084
hidrógeno	7582	0,0893	0,677

Tabla 8: Relación de consumos en kg/100 km

$$\text{Relación Consumo } \frac{HC}{H_2} = \frac{\text{consumo HC}}{\text{consumo } H_2} = \frac{4,084}{0,677} = 6,032$$

El consumo en peso de hidrocarburos viene a ser **6 veces superior** al de hidrógeno para recorrer la misma distancia.

2.4.2.2.2 Cálculo según consumo diario

Para dimensionar la producción fotovoltaica al suministro de hidrógeno del mes más desfavorable, debemos tener en cuenta el consumo y la radiación solar. La radiación solar la obtenemos del Joint Research Centre (Ispra, Italia) de la Comisión Europea, que para un seguimiento a dos ejes es:

2-axis tracking system				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	4.56	141	5.48	170
Feb	5.43	152	6.61	185
Mar	6.45	200	7.98	247
Apr	6.99	210	8.76	263
May	7.59	235	9.66	299
Jun	8.03	241	10.40	312
Jul	8.04	249	10.60	327
Aug	7.21	224	9.45	293
Sep	6.29	189	8.10	243
Oct	5.52	171	7.02	218
Nov	4.70	141	5.77	173
Dec	4.13	128	4.95	153
Year	6.25	190	7.90	240
Total for year		2280		2880

Tabla 6: Datos para Valencia según PVGIS

La columna **Ed** nos da las horas equivalentes diarias de energía eléctrica producida en kWh para la potencia instalada y estimada calculando unas pérdidas combinadas, de todo el sistema fotovoltaico

del 21%, incluido el inversor, que podrían reducirse si la alimentación del electrolizador se produce en corriente continua.

En la siguiente tabla, la columna "ratio" indica la relación (horas equivalentes/consumo), que nos viene a indicar que el mes más desfavorable es Diciembre. Así los cálculos diarios se han de basar en el consumo de diciembre respecto de la producción fotovoltaica de ese mismo mes.

CONSUMO EN Tm				Radiación solar	
AÑO	MES	PROVINCIA	consumo gasolinera y día	Horas equivalentes 2 ejes	ratio radiación/consumo
2012	septiembre	VALENCIA	1,953	6,29	3,22
2012	octubre	VALENCIA	1,975	5,52	2,79
2012	noviembre	VALENCIA	1,922	4,7	2,45
2012	diciembre	VALENCIA	2,043	4,13	2,02
2013	enero	VALENCIA	1,724	4,56	2,65
2013	febrero	VALENCIA	1,849	5,43	2,94
2013	marzo	VALENCIA	1,897	6,45	3,40
2013	abril	VALENCIA	1,955	6,99	3,58
2013	mayo	VALENCIA	1,937	7,59	3,92
2013	junio	VALENCIA	2,001	8,03	4,01
2013	julio	VALENCIA	2,323	8,04	3,46
2013	agosto	VALENCIA	2,212	7,21	3,26

Tabla 7: Diciembre es el mes de cálculo de consumos de energía fotovoltaica

Los datos de partida son los 2043 kg diarios de HC que suministra una gasolinera (tabla 6) a automóviles de turismo en diciembre. Dividiendo por 6 obtendremos las necesidades de suministro de H₂. Si el 100% de los turismos funcionaran con dicho gas se necesitarán 341kg diarios.

Hay que considerar el consumo real en base a determinadas cuotas de mercado del vehículo de H₂.

	TASA BAJA			TASA MEDIA			TASA ALTA		
	TURISMOS	cuota	H2	TURISMOS	cuota	H2	TURISMOS	cuota	H2
	H2		(kg/día)	H2		(kg/día)	H2		(kg/día)
AÑO 1	15000	0,07%	0,231	30000	0,14%	0,462	50000	0,23%	0,770
AÑO 2	31500	0,14%	0,483	64500	0,29%	0,989	110000	0,50%	1,686
AÑO 3	49650	0,22%	0,757	104175	0,47%	1,589	182000	0,82%	2,776
AÑO 4	69615	0,31%	1,057	149801	0,67%	2,274	268400	1,20%	4,074
AÑO 5	91577	0,41%	1,383	202271	0,90%	3,055	372080	1,65%	5,619
AÑO 6	115734	0,51%	1,739	262612	1,16%	3,946	496496	2,19%	7,461
AÑO 7	142308	0,62%	2,128	332004	1,46%	4,964	645795	2,84%	9,657
AÑO 8	171538	0,75%	2,552	411805	1,80%	6,127	824954	3,60%	12,274
AÑO 9	203692	0,89%	3,016	503575	2,19%	7,455	1039945	4,52%	15,396
AÑO 10	239061	1,03%	3,522	609112	2,64%	8,973	1297934	5,62%	19,120

Tabla 8: Consumos diarios de H₂ en kg según Tasa teórica

En cuota se expresa el porcentaje de turismos en circulación que irán alimentados por hidrógeno respecto del total, según la Tabla 2.

En la columna H_2 (kg/día) aparece la cantidad de hidrógeno, en peso, que será necesario producir diariamente para abastecer la demanda de una hidrogenera media de la provincia de Valencia, en los tres supuestos de penetración en el mercado de automóviles de turismo empujados por motores eléctricos alimentados por pilas de H_2 . Son los 341 kg por la cuota correspondiente.

2.4.2.2.3 Cálculo según consumo anual

El consumo anual servirá para calcular la producción media diaria necesaria para minimizar la central fotovoltaica, recurriendo a almacenar en depósitos a presión los excedentes producidos en los días de mayor irradiación.

	TASA BAJA			TASA MEDIA			TASA ALTA		
	TURISMOS	cuota	H2	TURISMOS	cuota	H2	TURISMOS	cuota	H2
	H2		gasolinera	H2		gasolinera	H2		gasolinera
AÑO 1	15000	0,07%	81,914	30000	0,14%	163,828	50000	0,23%	273,047
AÑO 2	31500	0,14%	167,089	64500	0,28%	342,328	110000	0,48%	584,131
AÑO 3	49650	0,21%	252,691	104175	0,44%	536,889	182000	0,78%	938,745
AÑO 4	69615	0,28%	338,727	149801	0,62%	749,035	268400	1,11%	1343,178
AÑO 5	91577	0,35%	425,204	202271	0,81%	980,432	372080	1,50%	1804,624
AÑO 6	115734	0,42%	512,128	262612	1,02%	1232,903	496496	1,93%	2331,315
AÑO 7	142308	0,50%	599,505	332004	1,25%	1508,444	645795	2,43%	2932,671
AÑO 8	171538	0,57%	687,343	411805	1,50%	1809,241	824954	3,00%	3619,471
AÑO 9	203692	0,64%	775,647	503575	1,77%	2137,684	1039945	3,65%	4404,050
AÑO 10	239061	0,72%	864,425	609112	2,07%	2496,390	1297934	4,39%	5300,522

Tabla 9: Consumo por gasolinera y año de Hidrógeno

2.4.3 CÁLCULO DEL CONSUMO ELÉCTRICO DEL ELECTROLIZADOR

Según Faraday (ec. 2), la energía necesaria para separar el agua en hidrógeno y oxígeno es...

$$W_{el} = n_e \cdot F \cdot E \text{ (J)}$$

Vimos que el potencial reversible de la reacción era $E = 1,23V$, pero que para superar las resistencias, había que aplicar un potencial entre 1,6 y 1,8V (tomaremos 1,7V).

Como cada molécula de agua electrolizada produce dos electrones...

$$W_{el} = n \cdot F \cdot E = 2 \frac{\text{mol } e^-}{\text{mol } H_2} \cdot 96485 \frac{C}{\text{mol } e^-} \cdot 1.7 V = 328049 \frac{C \cdot V}{\text{mol } H_2}$$

Y teniendo en cuenta las equivalencias energéticas...

$$C \cdot V = Juls = W \cdot s$$

La conversión energética en unidades eléctricas habituales es...

$$328049 \frac{W \cdot s}{\text{mol } H_2} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{1 \text{ mol } H_2}{2 \text{ gr } H_2} \cdot 1000 \frac{\text{gr } H_2}{\text{kg } H_2} \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} = 45,56 \frac{\text{kWh}}{\text{kg } H_2}$$

Los fabricantes de electrolizadores los publicitan mostrando en su ficha técnica el consumo de electricidad en kWh por Nm³H₂ producido, refiriéndose la “N” a las condiciones Normales de presión y temperatura (1 atm y 298,15 K respectivamente).

Para los gases ideales, y el hidrógeno es el más ideal de los gases reales, el volumen molar en condiciones normales será...

$$V = \frac{n * R * T}{P} = \frac{1_{mol} * 0,082_{atm * l / mol * K} * 298,15_K}{1_{atm}} = 24,45 \text{ l/mol}$$

Con este dato podemos calcular el consumo eléctrico del electrolizador según la producción de hidrógeno en volumen, que es como viene referido habitualmente en las fichas técnicas de los fabricantes.

$$45,56 \frac{kWh}{kg H_2} * \frac{1}{1000} \frac{kg H_2}{gr H_2} * 2 \frac{gr H_2}{mol H_2} * 1000 \frac{l}{m^3} * \frac{1}{24,45} \frac{mol H_2}{l} = 3,73 \frac{kWh}{Nm^3 H_2}$$

$$3,73 \frac{kWh}{Nm^3 H_2}$$

Según datos de varios comercializadores, el consumo se sitúa sobre los **4,5 kWh/Nm³H₂**, que convertido a consumo eléctrico por kg de hidrógeno será...

$$4,5 \frac{kWh}{Nm^3 H_2} * 24,45 \frac{l}{mol} * \frac{1}{1000} \frac{m^3}{l} * \frac{1}{2} \frac{mol}{gr} * 1000 \frac{gr}{kg} = 55,0 \frac{kWh}{kg H_2}$$

La diferencia entre el valor calculado y el referido por los fabricantes no es mucha y menos si tenemos en cuenta que la mayoría de ellos suministran el hidrógeno a presión.

Este dato tiene cierta importancia a la hora de calcular el consumo energético para comprimir el gas a los valores de suministro habituales. Como veremos más adelante, el consumo eléctrico del compresor depende directamente de las presiones de entrada y salida del gas, de forma que lo que consuma de más un electrolizador que suministre el gas a mayor presión se ahorrará después en el consumo del compresor.

2.4.4 CÁLCULO DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA

2.4.4.1 CÁLCULO SEGÚN CONSUMO DIARIO

Este cálculo se basa en la no acumulación de hidrógeno, o más bien... en la acumulación justa para el consumo diario, reduciendo los tanques a la mínima expresión.

La radiación solar en Diciembre en la provincia de Valencia (Tabla 6, columna **Ed**), permite obtener una media diaria de 4,13 kWh por cada kW de potencia instalada, por lo tanto por cada kg de H₂ que queramos producir deberemos tener instalados...

$$Potencia a instalar = \frac{55 \frac{kWh}{kg H_2}}{4,13 \frac{kWh}{kW_{instalado}}} = 13,3 \frac{kW_{instalados}}{kg H_2}$$

Con este consumo y con la relación (peso de combustible/100 km recorridos), podemos relacionar la necesidad de producción de energía fotovoltaica con la cantidad de vehículos turismos en circulación según las hipótesis analizadas.

equivalencia -COMBUSTIBLE		HC (kg)	2043			H ₂ (kg)	341								
TASA BAJA				TASA MEDIA				TASA ALTA							
TURISMOS	cuota	H2	POTENCIA	TURISMOS	cuota	H2	POTENCIA	TURISMOS	cuota	H2	POTENCIA	TURISMOS	cuota	H2	POTENCIA
H2		(kg/dia)	NECESARIA (kWpico)	H2		(kg/dia)	NECESARIA (kWpico)	H2		(kg/dia)	NECESARIA (kWpico)	H2		(kg/dia)	NECESARIA (kWpico)
AÑO 1	15000	0,07%	0,231	3,074	30000	0,14%	0,462	6,147	50000	0,23%	0,770	10,246			
AÑO 2	31500	0,14%	0,483	6,423	64500	0,29%	0,989	13,151	110000	0,50%	1,686	22,429			
AÑO 3	49650	0,22%	0,757	10,073	104175	0,47%	1,589	21,135	182000	0,82%	2,776	36,925			
AÑO 4	69615	0,31%	1,057	14,053	149801	0,67%	2,274	30,241	268400	1,20%	4,074	54,183			
AÑO 5	91577	0,41%	1,383	18,395	202271	0,90%	3,055	40,630	372080	1,65%	5,619	74,739			
AÑO 6	115734	0,51%	1,739	23,132	262612	1,16%	3,946	52,488	496496	2,19%	7,461	99,234			
AÑO 7	142308	0,62%	2,128	28,301	332004	1,46%	4,964	66,027	645795	2,84%	9,657	128,432			
AÑO 8	171538	0,75%	2,552	33,945	411805	1,80%	6,127	81,490	824954	3,60%	12,274	163,247			
AÑO 9	203692	0,89%	3,016	40,107	503575	2,19%	7,455	99,154	1039945	4,52%	15,396	204,766			
AÑO 10	239061	1,03%	3,522	46,837	609112	2,64%	8,973	119,338	1297934	5,62%	19,120	254,293			

Tabla 10: Potencia instalada sin acumulación

Si se introducen 15.000 vehículos anuales alimentados por pila de combustible (Tasa Baja), los 4 primeros años bastaría con un seguidor solar que generase 14 kW para cubrir la demanda de cualquier día del mes de diciembre.

Con este cálculo la producción de diciembre se consumiría toda, pero el resto del año habría sobreproducción.

También bastaría un seguidor para los dos primeros años si se vendieran 30.000 vehículos anuales y sólo cubriría el primer año si se introdujeran en el mercado 50.000 vehículos el primer año.

Este cálculo no requeriría un acumulador voluminoso, pero seguiría siendo imprescindible para tener una mínima reserva diaria a la presión de suministro (35 o 70 MPa).

2.4.4.2 CÁLCULO SEGÚN CONSUMO ANUAL

Se requiere depósitos a presión para almacenar la producción de los meses con días largos.

La columna **Em** de la tabla 6 indica que la producción equivalente es de 2280 kWh por kW instalado.

$$Potencia a instalar = \frac{55 \frac{kWh}{kg H_2}}{2280 \frac{kWh/año}{kW_{instalado}}} * H_2 \frac{kg}{año}$$

El consumo anual se multiplica por el gasto energético para hidrolizarlo y se divide por la energía obtenida anualmente por cada kW instalado.

Se parte del suministro anual de HC por una gasolinera media de Valencia que es de 724 Tm.

A partir de la Tabla 9, calculamos la potencia necesaria a instalar en una gasolinera media, para cubrir la demanda anual de hidrógeno.

	consumo anual(kg)				producción horas equivalentes año= 2280											
	HC=		724121		TASA BAJA				TASA MEDIA				TASA ALTA			
	H2=		120687		TURISMOS		H2		POT. INST.		TURISMOS		H2		POT. INST.	
	H2	cuota	H2	POT. INST.	H2	cuota	H2	POT. INST.	H2	cuota	H2	POT. INST.				
		(kg/año)	(kWpico)			(kg/año)	(kWpico)			(kg/año)	(kWpico)					
AÑO 1	15000	0,07%	82	1,98	30000	0,14%	164	3,95	50000	0,23%	273	6,59				
AÑO 2	31500	0,14%	171	4,13	64500	0,29%	350	8,45	110000	0,50%	598	14,42				
AÑO 3	49650	0,22%	268	6,48	104175	0,47%	563	13,59	182000	0,82%	984	23,74				
AÑO 4	69615	0,31%	375	9,03	149801	0,67%	806	19,44	268400	1,20%	1444	34,83				
AÑO 5	91577	0,41%	490	11,83	202271	0,90%	1083	26,12	372080	1,65%	1992	48,05				
AÑO 6	115734	0,51%	616	14,87	262612	1,16%	1399	33,74	496496	2,19%	2645	63,79				
AÑO 7	142308	0,62%	754	18,19	332004	1,46%	1760	42,45	645795	2,84%	3423	82,56				
AÑO 8	171538	0,75%	905	21,82	411805	1,80%	2172	52,39	824954	3,60%	4350	104,95				
AÑO 9	203692	0,89%	1069	25,78	503575	2,19%	2642	63,74	1039945	4,52%	5457	131,64				
AÑO 10	239061	1,03%	1248	30,11	609112	2,64%	3180	76,72	1297934	5,62%	6777	163,48				

Tabla 11: Potencia instalada con acumulación en una gasolinera media

Bajo esta hipótesis, bastaría un seguidor solar para cubrir los dos primeros años incluso aunque la tasa fuera alta y hubiera 110.000 vehículos a hidrógeno circulando, lo que ocurriría a los 6 años si la tasa de introducción fuese Baja.

La producción en los meses de menor radiación solar sería insuficiente y los tanques se irían vaciando mientras que en los meses con días más largos los excedentes volverían a llenar los tanques.

2.4.4.3 ACUMULACIÓN

Supongamos un caso con altos consumos, una Tasa Alta de un mes de diciembre del 6º año en el que requerimos unos 7,5 kg/día de hidrógeno (al mes 233 kg). Tenemos instalados unos 64 kWp que nos producen 149 kg. En esa situación bastaría un tanque de 3 m³ a 700 atm para almacenar unos 170 kg durante los meses excedentarios y suministrar durante los meses deficitarios. Cualquiera de las tasas baja o media requeriría depósitos más pequeños.

2.4.4.4 HIDROLIZADOR

Con acumulación, requerimos un hidrolizador que proporcione...

	TASA BAJA				TASA MEDIA				TASA ALTA			
	TURISMOS	cuota	H2 (kg/año)	H2	TURISMOS	cuota	H2 (kg/año)	H2	TURISMOS	cuota	H2 (kg/año)	H2
	H2		gasolinera	(Nm ³ /h)	H2		gasolinera	(Nm ³ /h)	H2		gasolinera	(Nm ³ /h)
AÑO 1	15000	0,07%	81,914	0,439	30000	0,14%	163,828	0,878	50000	0,23%	273,047	1,464
AÑO 2	31500	0,14%	171,164	0,918	64500	0,29%	350,478	1,879	110000	0,50%	597,715	3,205
AÑO 3	49650	0,22%	268,445	1,439	104175	0,47%	563,247	3,020	182000	0,82%	984,027	5,276
AÑO 4	69615	0,31%	374,518	2,008	149801	0,67%	805,907	4,321	268400	1,20%	1443,949	7,742
AÑO 5	91577	0,41%	490,216	2,628	202271	0,90%	1082,774	5,806	372080	1,65%	1991,772	10,680
AÑO 6	115734	0,51%	616,451	3,305	262612	1,16%	1398,789	7,500	496496	2,19%	2644,558	14,180
AÑO 7	142308	0,62%	754,222	4,044	332004	1,46%	1759,602	9,435	645795	2,84%	3422,678	18,352
AÑO 8	171538	0,75%	904,620	4,850	411805	1,80%	2171,683	11,644	824954	3,60%	4350,459	23,326
AÑO 9	203692	0,89%	1068,842	5,731	503575	2,19%	2642,430	14,168	1039945	4,52%	5456,944	29,259
AÑO 10	239061	1,03%	1248,195	6,693	609112	2,64%	3180,313	17,052	1297934	5,62%	6776,816	36,336

 Tabla 12: Producción necesaria de H₂ en Nm³/h

Si tomamos como referencia una tasa baja y procuramos que la instalación fotovoltaica proporcione la energía suficiente para cubrir los 5 primeros años, es decir, que sea capaz de alimentar un electrolizador que proporcione 490 kg de H₂ al año (2,63 Nm³ de H₂ por hora), se precisaría una potencia pico de 11,83 kW_{pico}.

Acumulando reservas de hidrógeno a presión nos permitiría, con el generador calculado para el caso anterior, suministrar energía no sólo para producir el gas sino también para comprimirlo.

Si tomamos las dimensiones de un seguidor solar de 90 m² como el de MECASOLAR modelo MS-tracker 10 y le instalamos 45 placas de 1956X992 mm (2 m²/placa) y 300 Wp de potencia, el seguidor nos proporcionaría una potencia pico de 13,5 kW. O bien 54 placas modelo TM P660250 de TAMESOL de 1640x992mm y 250 W_p para dar 13,5 kW.

2.4.5 ENERGIA PARA COMPRIMIR EL GAS

El hidrógeno se ha de suministrar a presión. Para obtener los mejores resultados en cuanto a autonomía del vehículo, sería conveniente elevar la presión a 700 atm (70 MPa), lo que llevaría a un consumo energético de:

$$E = \frac{\gamma}{\gamma - 1} p_0 V_0 \left[\left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right]$$

- E: Trabajo específico para la compresión (J/kg)
- P₀: Presión inicial (Pa)
- P₁: Presión final (Pa)
- V₀: Volumen específico inicial (m³/kg)
- γ=1.41 Coeficiente adiabático del hidrógeno a 20 °C

Si contamos con que el hidrógeno producido por el electrolizador sale a la presión atmosférica (p₀=10⁵Pa) y lo almacenamos a 700 atm (p₁=70 MPa), el gasto energético, será...

$$E = \frac{1.41}{1.41 - 1} * 10^5 Pa * 12.225 m^3/kg * \left[\left(\frac{70 * 10^6}{10^5} \right)^{\frac{1.41-1}{1.41}} - 1 \right] = 24 * 10^6 J/kg$$

Convertido a kW por kg de hidrogeno comprimido a 700 atm:

$$24 * 10^6 \frac{w.s}{kg} * \frac{1}{1000} \frac{kW}{w} * \frac{1}{3600} \frac{h}{s} = 6.7 kWh/kgH_2(70Mpa)$$

O también en vatios por metro cúbico comprimido:

$$6.7 \frac{kWh}{kgH_2} * \frac{1}{1000} \frac{kg}{gr} * 2 \frac{gr}{mol} * \frac{1}{24.45} \frac{mol}{l} * 1000 \frac{l}{m^3} = 548 \frac{Wh}{m^3}$$

Si el electrolizador nos suministra 2,63 Nm³ de H₂ por hora, la potencia del compresor deberá ser de unos...

$$Potencia\ compresor = 1,5kW \approx 2 CV$$

Energía que podría ser suministrada por la misma central fotovoltaica de 13,5 kW.

Ese sería el consumo del compresor si tuviera que elevar la presión desde la presión atmosférica hasta esos 700 atm, pero como se comentó anteriormente, muchos electrolizadores suministran el hidrógeno a presión. Incluso permiten al cliente que seleccione la presión de salida según sus necesidades al realizar su pedido.

Actualmente, las hidrogeneras en funcionamiento en otros países suministran el hidrógeno comprimido a dos presiones, 35 MPa y 70 MPa, en diferentes puntos de suministro. Por ejemplo, en recorridos cortos, vehículos que circulen principalmente por vías urbanas, no sería necesario que llevaran tanques de alta presión, bastarían tanques a 350 atm para tener una buena movilidad.

3 PROYECTO INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 13,5 KW

3.1 MEMORIA DEL PROYECTO

3.1.1 ANTECEDENTES

Teniendo en cuenta los antecedentes citados en el punto 2 de la memoria del TFG y no sabiendo en qué momento las autoridades gubernamentales decidirán optar por la migración del transporte impulsado por hidrocarburos al transporte impulsado por hidrógeno obtenido del agua, cualquier suposición por mi parte de lo que ocurrirá no deja de ser una mera hipótesis de trabajo.

Sí sabemos que la situación actual no puede prolongarse durante mucho tiempo, no solo por motivos ambientales sino porque los hidrocarburos no son una fuente inagotable de energía y su consumo no hace más que aumentar al ritmo que los países del tercer mundo, o poco industrializados, se van sumando al grupo de países industrializados, como por ejemplo China.

Opto por la tecnología fotovoltaica porque la energía solar es la más abundante en este planeta. El Sol nos la envía desde el inicio del sistema solar, hace ya más de 5 mil millones de años y lo seguirá haciendo, al menos, otros 5 mil millones de años más. Es la energía que hizo crecer las plantas que al morir y bajo la ingente presión a que se vieron sometidos sus restos, se convirtieron en el carbón, petróleo y gas natural que hoy extraemos del subsuelo. Es la energía que hace mover los aerogeneradores actuales y es la energía que “bombea” el agua, en forma de nubes, que utilizan nuestras centrales hidroeléctricas. Es una energía infinita “para nuestra escala temporal” y sólo debemos aprovecharla mejor.

3.1.2 OBJETO DEL PROYECTO

El objeto del proyecto, como se anunció en el punto 2.2, es una pequeña central solar fotovoltaica que genere la suficiente energía eléctrica para electrolizar el agua y obtener hidrógeno molecular para abastecer, sobre todo en ruta, a los vehículos que empiecen a comercializarse empujados por motores eléctricos alimentados por pilas de combustible PEM.

Este parque solar estará formado por un seguidor solar de unos 90 m² de superficie que albergará 54 paneles de 1640mm x 992 mm y que generan una potencia pico de 250 W cada uno, sumando así una potencia total instalada de 13,5 kWp. Proporcionará unos 30,78 MW anuales.

Se opta por este tipo de instalación porque se ahorra espacio (una instalación fija necesitaría más de 75 placas y una superficie de más de 150 m² para obtener la misma energía).

Para abaratar costes de este método de captación de energía solar, se creará un sistema propio de seguimiento solar utilizando un autómata programable (relé), económico y ampliamente utilizado en electricidad y automatización.

El objetivo del proyecto es la reducción de emisiones contaminantes, sobre todo las de efecto invernadero. La producción de 30,78 MW proporcionará 560 kg de H₂ equivalente a 3360 kg de

gasoil/gasolina, que a una media de 2,6 kg de CO₂ por kg de gasoil/gasolina, *se evitarán **8,74 Tm** de emisiones de CO₂ por gasolinera media y año*. Equivale a **5121 Tm** de CO₂ anuales que dejarían de emitirse a la atmósfera en la provincia de Valencia. Para todo el estado supondría una reducción de **73.000 Tm** anuales. Y eso sería sólo con el 0,5% de turismos a hidrógeno en circulación.

España es uno de los países que compra más derechos de emisiones y ha llegado a pagarlas a unos 9 € por tonelada de CO₂ (en 2009 se pagó a unos 8 €/Tm) y aunque ahora está más barato, debido a que hay menor demanda entre otros motivos por la crisis, en cualquier momento pueden volver a subir puesto que su valor varía según la oferta y la demanda. La realidad es que si no se cambia de modelo energético, volveremos a pagar muy cara la sobre-emisión puesto que el compromiso es seguir reduciendo emisiones.

3.1.3 TITULAR

Cualquier gasolinera media de la provincia de Valencia.

3.1.4 SITUACIÓN

Cualquier gasolinera de la provincia de Valencia.

3.1.5 LEGISLACIÓN APLICABLE

3.1.5.1 Electricidad

Directiva 2014/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de comercialización de material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión.

Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico. DEROGA en la forma indicada: salvo las disposiciones adicionales 6, 7, 21 y 23, y MODIFICA la disposición adicional 21, de la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.

Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, así como las instrucciones técnicas complementarias.

Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.

Orden de 6 de junio de 1989 por la que se desarrolla y complementa el Real Decreto 7/1988, de 8 de enero, relativo a las exigencias de seguridad del material eléctrico, destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión.

Real Decreto 7/1988, de 8 de enero, por el que se establecen las exigencias de seguridad del material eléctrico destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión.

Orden de 27 de septiembre de 2005, de la Conselleria de Empresa, Universidad y Ciencia, por la que se regula el procedimiento general para la puesta en servicio de instalaciones eléctricas de baja tensión.

3.1.5.2 Seguridad

Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

Real Decreto 2177/2004, de 12 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, en materia de trabajos temporales en altura.

3.1.5.3 Medio Ambiente

Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.

3.1.5.4 Equipos a Presión

Resolución de 29 de octubre de 2012, de la Dirección General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa, por la que se publica la relación de normas armonizadas en el ámbito del Real Decreto 769/1999, de 7 de mayo, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva 97/23/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a los equipos a presión.

Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.

Real Decreto 1388/2011, de 14 de octubre, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva 2010/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de junio de 2010 sobre equipos a presión transportables y por la que se derogan las Directivas 76/767/CEE, 84/525/CEE, 84/526/CEE, 84/527/CEE y 1999/36/CE.

- AÑADE: Disposición adicional 6ª del Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.

Real Decreto 769/1999, de 7 de mayo, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, 97/23/CE, relativa a los equipos de presión y se modifica el Real Decreto 1244/1979, de 4 de abril, que aprobó el Reglamento de aparatos a presión.

3.1.5.5 Atmósferas Explosivas

Real Decreto 400/1996, de 1 de marzo, por el que se dicta las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 94/9/CE, relativo a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.

Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.

3.1.5.6 Gases

Resolución de 2 de julio de 2015, de la Dirección General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa, por la que se actualiza el listado de normas de la instrucción técnica complementaria ITC-ICG 11 del Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos, aprobado por el Real Decreto 919/2006, de 28 de julio.

Resolución de 29 de abril de 2011, de la Dirección General de Industria, por la que se actualiza el listado de normas de la instrucción técnica complementaria ITC-ICG 11 del Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos, aprobado por el Real Decreto 919/2006, de 28 de julio.

Real Decreto 919/2006, de 28 de julio, por el que se aprueba el Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias ICG 01 a 11.

Real Decreto 276/1995, de 24 de febrero, por el que se modifica el Real Decreto 1428/1992, de aplicación de la Directiva 90/396/CEE, sobre aparatos de gas.

3.1.6 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

El sistema fotovoltaico de 13,5 kW (lo necesario para una gasolinera media de la provincia de Valencia) entregará toda su potencia al electrolizador para la producción y almacenamiento de hidrógeno. Este sistema se deberá redimensionar a las necesidades reales de cada punto de suministro y cumplirá las exigencias del REBT.

Mientras la demanda lo permita, también alimentará al grupo de presión que eleve la presión de salida del electrolizador a la de almacenamiento, a 350 atm o a 700 atm. Y más adelante, cuando el consumo supere las posibilidades de generación **onsite** y la producción se centralice y canalice, puede que aprovechando el sistema de transporte de gas natural, deberá alimentar a un nuevo grupo de presión de mayor capacidad, de forma que toda la cadena de... generación, transporte y suministro a alta presión, sea **“cero emisiones”**.

3.1.6.1 DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

Según codificación CNAE, esta actividad pertenece a las categorías:

CATEGORIA-CNAE D3519: Producción de energía eléctrica de otros tipos. Categoría B.1.1 según RD 661/2007 (instalaciones que utilizan únicamente como energía primaria la solar fotovoltaica).

CATEGORIA-CNAE D3521: Producción de gas.

3.1.6.2 DISPONIBILIDAD DE IRRADIACIÓN

Los datos de partida para el cálculo de la producción eléctrica se toman de PVGIS, según Tabla 6 del punto 2.4.2.2.2, para una instalación con seguimiento solar a dos ejes situada en la provincia de Valencia, según consta en el informe obtenido de su web y que se incluye como anexo.

En cualquier caso, esta información se puede obtener a partir de los datos de AEMET, o de otras fuentes que veremos. Para la estación del aeropuerto de Valencia, y como valores normales entre 1981 y 2010, da los siguientes datos...

DATOS: AEMET (Valencia-aeropuerto)

T	Temperatura media mensual (°C)
TM	Media mensual de las temperaturas máximas diarias
Tm	Media mensual de las temperaturas mínimas diarias
R	Precipitación mensual
H	Humedad relativa media (%)
DR	Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm
DN	Número medio mensual/anual de días de nieve
DT	Número medio mensual/anual de días de tormenta
DF	Número medio mensual/anual de días de niebla
DH	Número medio mensual/anual de días de helada
DD	Número medio mensual/anual de días despejados
I	Número medio mensual/anual de horas de sol

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	10.5	15.8	5.1	37	66	4.0	0.2	0.3	0.6	2.3	8.4	176
Febrero	11.4	16.8	5.9	34	65	3.8	0.0	0.2	1.3	1.2	6.6	172
Marzo	13.6	19.3	7.8	30	61	3.3	0.0	0.1	0.8	0.4	6.7	220
Abril	15.5	21.1	10.0	40	59	4.7	0.0	1.1	0.4	0.0	5.1	238
Mayo	18.7	24.1	13.4	38	60	4.5	0.0	1.9	0.3	0.0	5.4	268
Junio	22.7	27.8	17.5	18	59	2.6	0.0	2.0	0.2	0.0	9.0	294
Julio	25.5	30.6	20.5	12	61	1.1	0.0	1.7	0.1	0.0	13.3	328
Agosto	25.9	30.8	20.9	16	63	2.0	0.0	2.3	0.1	0.0	10.0	292
Septiembre	23.0	28.0	18.0	63	65	4.8	0.0	3.1	0.1	0.0	6.6	236
Octubre	19.0	24.1	13.9	72	67	4.7	0.0	1.8	0.4	0.0	5.1	207
Noviembre	14.2	19.3	9.2	51	67	4.1	0.0	0.6	0.1	0.1	6.1	168
Diciembre	11.2	16.2	6.1	48	67	4.4	0.0	0.2	0.6	1.8	7.8	160
Año	17.6	22.8	12.4	461	63	43.9	0.2	15.5	5.1	4.9	92.5	2759

Tabla 13: Valores medios para Valencia desde 1981 a 2010 según AEMET.

La columna I nos permite obtener las horas mensuales y el total anual de insolación y a partir de este dato obtener la producción energética con un sistema con seguimiento solar a dos ejes.

3.1.6.3 SISTEMA GENERADOR

Para una gasolinera media y como se indicó en el punto 3.1.2, el sistema generador estará formado por un seguidor solar de unos 90 m² de superficie que albergará 54 paneles de 1640mm x 992 mm de 250 W_{pico} de potencia, que sumarán una potencia total instalada de 13,5 kWp, para proporcionar 30,78 MW anuales, según estimaciones de radiación solar. Los módulos irán conectados en 3 series de 18 paneles que nos permitan transportar la corriente con las menores pérdidas posibles hasta el inversor.

3.1.6.4 ANEMÓMETRO

Se instalará un anemómetro conectado directamente al autómatas y se tarará de forma que a una velocidad de viento inferior a la máxima admitida por el seguidor, éste se dirija a la posición de “defensa”, ligeramente inclinado para evacuar agua o nieve según ubicación.

3.1.6.5 SEGUIDOR SOLAR

Se proyecta un seguidor de 90 m², que podría ser el MS-2E-TRACKER o similar, fijado al suelo mediante zapata de hormigón de 7.5 m³ con mallazo electrosoldado, semi-empotrada o superficial, según especificaciones del fabricante. Seguimiento a dos ejes con motores trifásicos y reductora, accionados a través de contactores-inversores con guardamotor y controlados por un relé programable o autómatas, Millenium 3 Smart de Crouzet , modelo CD12 Smart a 240 Vac con 4 salidas de relé y 8 entradas, programado por el autor de este proyecto, para la función de seguimiento solar.

3.1.6.5.1 Programación del autómatas

Se crea un programa de seguimiento solar en lenguaje BDF, y que se incorpora en la sección de documentación técnica.

3.1.6.6 INVERSOR

Se procederá a instalar un inversor de 13,5 kW que alimentará, al menos al principio, el compresor y el electrolizador. Hay electrolizadores comerciales alimentados tanto con AC como con DC, pero como hay electrolizadores que incorporan un compresor de media presión, se supondrá alimentado con AC. Ante la baja demanda inicial, compresor y electrolizador estarán alimentados por la misma fuente fotovoltaica.

3.1.6.7 CABLEADO Y CANALIZACIÓN

Han de garantizar la eficiencia energética y la seguridad tanto de la instalación como del personal.

Los conductores serán de cobre, de sección suficiente no solo para evitar caídas de tensión superiores a las reglamentarias sino para maximizar la eficiencia y evitar calentamientos superiores a los admitidos por los conductores. Se adecuarán para el uso a que se destinen, sea intemperie o canalizado.

La línea de corriente continua irá directamente, sin interrupción, desde el cuadro de fusibles de DC del seguidor hasta el inversor.

La red de alterna que alimentará los motores trifásicos del sistema de seguimiento, irá enterrada bajo tubo para emerger por el centro de la zapata y alimentar el cuadro de alterna, y será de conductores de cobre aislados tipo RVK 0.6/1kV de $U_N \geq 1kV$.

3.1.6.8 PROTECCIONES Y RED EQUIPOTENCIAL

La conexión de los módulos fotovoltaicos se efectuará con los polos positivo y negativo aislados de tierra, utilizando cableado de doble aislamiento de clase II en toda la red de continua.

La red equipotencial consistirá en una o varias picas de tierra de cobre de 2 m de longitud unidas por un conductor de cobre de 35 mm² de sección. El número de picas se determinará a partir de la

resistividad del terreno, teniendo en cuenta que no deben producirse tensiones de contacto, en las partes metálicas accesibles de la instalación, superiores a 24 V en cualquier época del año.

Se asegurará que todas las masas metálicas de la instalación fotovoltaica tengan continuidad con el conductor de cobre. Otro sistema de conexión a tierra se instalará en el lugar donde se instale el inversor.

3.1.6.8.1 Cuadro seguidores

Se instalarán fusibles de fusión rápida para corriente continua de 10 A para proteger cada serie de módulos fotovoltaicos, instalado en el mismo seguidor.

3.1.6.8.2 Cuadro de Continua

A la entrada del inversor se instalará un cuadro con interruptor de seccionamiento y fusible de protección de 32 A de fusión rápida, cilíndrico de 20x127, y 1000 Vdc.

3.1.6.8.3 Cuadro de alterna 1

Este cuadro se derivará del cuadro general de la gasolinera, y servirá para alimentar el cuadro de comando del seguidor y los dos motores trifásicos que efectúan los movimientos de azimut y elevación. Estará formado por:

- Un interruptor general tetrapolar
- Un interruptor automático diferencial tetrapolar de 25A y 300mA de sensibilidad.
- Un interruptor magnetotérmico tripolar de 6A.
- Un interruptor automático diferencial I+N 25A 300 mA
- Un interruptor magnetotérmico I+N de 6A.

3.1.6.8.4 Cuadro de alterna 2

Cuadro a instalar a la salida de 400V del inversor para alimentar al electrolizador y al grupo de presión. Estará formado por:

- Un interruptor magnetotérmico tripolar 40A
- Un interruptor diferencial tetrapolar de 25A y 300 mA de sensibilidad
- Un interruptor magnetotérmico tripolar de 25A para protección del electrolizador
- Un interruptor magnetotérmico tripolar de 6A para protección del grupo de presión

3.1.7 CÁLCULOS

3.1.7.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

El seguidor solar se compone de 54 módulos policristalinos, en 3 series de 18 módulos, cuyas características en condiciones estándar (STC) son:

P_{max} (max. Potencia nominal)	250 W
V_{mp} (voltaje a máxima potencia)	30.1 V
I_{mp} (corriente a máxima potencia)	8.30 A
V_{oc} (tensión en circuito abierto)	37.9 V
I_{sc} (corriente en cortocircuito)	8.65 A

Estas condiciones estándar se toman a 25 °C de temperatura de célula, con una irradiancia de 1000 W/m² y a 1,5 atm. En otras condiciones de temperatura estos valores varían según el fabricante...

$$\Delta P_{max} = -0.45\%/^{\circ}\text{C} \quad \Delta V_{oc} = -0.34\%/^{\circ}\text{C} \quad \Delta I_{sc} = 0.06\%/^{\circ}\text{C}$$

Para calcular las características a una temperatura diferente se usa la fórmula:

$$P_{max}(T \neq 25^{\circ}\text{C}) = \Delta P_{max} * \Delta T + P_{max}$$

De igual manera para el resto de parámetros de la siguiente tabla:

Temp. Amb.	STC (25°C)	T= 0 °C	T= 50°C	T= 60°C
ΔT (°C)	0	-25	25	35
MÓDULO				
P _{max} (W)	250,0	278,1	221,9	210,6
V _{mp} (V)	30,1	32,7	27,5	26,5
I _{mp} (A)	8,3	8,2	8,4	8,5
V _{oc} (V)	37,9	41,1	34,7	33,4
I _{sc} (A)	8,7	8,5	8,8	8,8
SERIE (18 módulos)				
P _{max-S} (W)	4500	5006	3994	3791
V _{mp-S} (V)	542	588	496	477
I _{mp-S} (A)	8,3	8,2	8,4	8,5
V _{oc-S} (V)	682	740	624	601
I _{sc-S} (A)	8,7	8,5	8,8	8,8
TOTAL(3 series)				
P _{max-T} (W)	13500	15019	11981	11374
V _{mp-T} (V)	542	588	496	477
I _{mp-T} (A)	24,9	24,5	25,3	25,4
V _{oc-T} (V)	682	740	624	601
I _{sc-T} (A)	26,0	25,6	26,3	26,5

Tabla 14: Variación de tensión y corriente con la temperatura

Valores a tener en cuenta en la elección del inversor:

Voc-T (Para no superar la tensión máxima de entrada)

Imp-T (Para no superar la intensidad máxima admisible)

Vmp-T (Para superar la tensión mínima y dentro del intervalo de máximo rendimiento)

3.1.7.2 SECCION DE CONDUCTORES Y PÉRDIDAS

Para optimizar los conductores en cada uno de los tramos de la instalación hasta el inversor se calculará la sección según las fórmulas:

3.1.7.2.1 Corriente Continua

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{e}$$

3.1.7.2.2 Corriente Alterna Monofásica

$$S = \frac{2 * \rho * L * I * \cos\varphi}{e}$$

3.1.7.2.3 Corriente Alterna Trifásica

$$S = \frac{\sqrt{3} * \rho * L * I * \cos\varphi}{e}$$

S = sección en mm² del conductor de cobre

L = longitud de la línea en metros

I = intensidad máxima en condiciones normales de utilización en A

e = caída de tensión en V

ΔT = Variación de la temperatura entre 20°C y la máxima admisible por el conductor

$\rho = 0.01724$ ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$) resistividad del cobre a 20 °C (UNE 20003). Se ha de calcular para la temperatura máxima admisible por el conductor (90°C)

$$\rho_{90} = \rho_{20} [1 + \alpha(\Delta T)] = 0.01724 [1 + 3.9 * 10^{-3} (90 - 20)] = 0.022 (\Omega \text{ mm}^2/\text{m})$$

α = Coeficiente de temperatura ($3,9 \times 10^3$ para el cobre)

A tener en cuenta que las pérdidas por conducción son:

$$P_p = R * I^2$$

$$\text{Siendo } R = \rho \frac{L}{S}$$

3.1.7.2.4 Cálculo de secciones y caída de tensión

LINEA	DESCRIPCIÓN	DATOS LINEA				c.d.t. TEÓRICA		c.d.t. REAL				SERVICIO			
		LONGITUD (m)	TENSION (V)	INTENSIDAD (A)	RESISTIVIDAD (ρ_{90})	c.d.t.(max=1,5%)	SECCIÓN calc (mm ²)	SECCIÓN elegida (mm ²)	I max admisible	TEMP conductor en °C	c.d.t. (real)	c.d.t. (%)	TENSION FINAL (V)	c.d.t. acumulada (%)	PÉRDIDAS acumuladas(W)
	CONTINUA DE FOTOVOLTAICA														
LCC1	línea conex entre módulos misma serie	18	542	8,3	0,022	8,13	0,8	4	25	45,5	1,64	0,3	540	0,3	40,9
LCC2	línea entre final series y cuadro seguidor	5	540	8,3	0,022	8,10	0,2	4	25	45,5	0,46	0,08	540	0,4	52,3
LCC3	línea de cuadro seguidor a inversor	30	540	24,9	0,022	8,10	4,1	10	51	51,9	3,29	0,61	536	1,0	134,1
	ALTERNA DE FOTOVOLTAICA														
LCA1	línea de inversor a cuadro alterna	2	400	21,0	0,022	6,00	0,2	6	37	56,1	0,27	0,07	400	0,1	143,8
LCA2	línea de cuadro alterna a hidrolizador	10	400	18,4	0,022	6,00	1,1	6	37	52,4	1,17	0,29	399	0,4	181,2
LCA3	línea de cuadro alterna a compresor	15	400	2,9	0,022	6,00	0,2	2,5	22	40,9	0,66	0,17	399	0,2	184,5
	ALTERNA DE RED														
LCA4	línea de CGMP a cuadro seguidor	30	400	1,2	0,022	6,00	0,2	1,5	16	40,3	0,93	0,23	399	0,2	2,0
LCA5	línea de cuadro a motores seguidor	4	400	0,5	0,022	6,00	0,0	1,5	16	40	0,05	0,01	399	0,2	2,0

Tabla 15: cálculo de secciones, c.d.t., y pérdidas en los conductores

Esto supone que las **pérdidas por conducción (L_{elec})** en continua son del 1% ($\frac{134,1W}{13500W} = 0.993$)

Para la temperatura del conductor se utilizó la siguiente ecuación:

$$\theta_{cond} = \frac{I_b^2(\theta_{ISO} - \theta_{amb})}{I_z^2} + \theta_{amb}$$

θ_{cond} Temperatura del conductor según la temperatura ambiente y la corriente circulante

θ_{iso} Temperatura máxima admisible por el conductor

θ_{amb} Temperatura ambiente según REBT (40 °C)

I_b Intensidad que circula por la línea

I_z Intensidad máxima admisible del conductor

En todos los casos la temperatura del conductor a la intensidad de funcionamiento está muy por debajo de la máxima admisible por el conductor seleccionado.

3.1.7.3 PRODUCCION ANUAL DE ELECTRICIDAD

La producción del seguidor solar de 13,5 kW se calculará a partir del número de horas de sol mensuales y no diarias, porque el cálculo sería eterno y no encontraríamos grandes diferencias, y de las pérdidas que se produzcan además de las ya calculadas para los conductores.

Aunque hay más bases de datos disponibles, estas tres están muy reconocidas tanto a nivel nacional como internacional (AEMET, INE y PVGIS).

	AEMET		INE-2013		PVGIS	
	Horas de sol	Ta-m	Horas de sol	Ta-m	Horas de sol	Ta-m
ENERO	176	10,5	189	13,9	170	9,9
FEBRERO	172	11,4	189	12,8	185	10,9
MARZO	220	13,6	193	15,6	247	13,5
ABRIL	238	15,5	221	15,9	263	15,6
MAYO	268	18,7	270	18,3	299	19,2
JUNIO	294	22,7	306	21,8	312	23,7
JULIO	328	25,5	329	26	327	26,5
AGOSTO	292	25,9	248	25,7	293	26,2
SEPTIEMBRE	236	23,0	249	24,2	243	22,5
OCTUBRE	207	19,0	230	22,4	218	19,1
NOVIEMBRE	168	14,2	207	15,9	173	13,5
DICIEMBRE	160	11,2	158	12,4	153	10,7
TOTAL AÑO	2759		2789		2883	

Tabla 16: Datos comparados AEMET, INE y PVGIS

Ta-m es la temperatura media del día en °C y nos permitirá calcular la energía suministrada dependiendo de la temperatura ambiente.

Las pérdidas a tener en cuenta para calcular la energía obtenida por la instalación son...

3.1.7.3.1 Pérdidas por efecto de la temperatura (L_{Tc})

En la tabla 13 se indica como varía la potencia de la placa en función de la temperatura, según los datos aportados por el fabricante de la placa en su ficha técnica.

La temperatura de la célula se suele calcular a partir de la fórmula:

$$T_c = \frac{TONC - 20}{800} * G + T_A$$

TONC Es la temperatura nominal de operación (a 20°C de temperatura ambiente, una irradiancia de 800 W/m² y una velocidad de viento de 1 m/s, según el fabricante vale 45±2°C).

G Es la irradiancia solar. Se toma en STC que equivale a 1000 W/m².

TA Es la temperatura ambiente en °C.

Y con la temperatura de la celda obtendremos las pérdidas energéticas con...

$$P_{max}(T \neq 25^{\circ}C) = \Delta P_{max} * \Delta T + P_{max}$$

3.1.7.3.2 Pérdidas por polvo y suciedad (Lsu)

En la bibliografía estas pérdidas pueden ir desde el 0% hasta el 8% si están muy sucias. Como la instalación estará en una gasolinera, donde los empleados pueden mantener el seguidor continuamente limpio, se determinan unas pérdidas mínimas por este concepto del 0,5%.

3.1.7.3.3 Pérdidas por dispersión de parámetros (LDP)

Se deben a la diferencia en la potencia que suministra cada panel fotovoltaico y que el fabricante suele indicar con un $\pm\%$. Esta variación supone que al instalarlos en serie los de menor potencia restarían eficiencia a los de mayor potencia. En el caso que nos ocupa y según ficha técnica esta variación está entre 0 y +5 W, por lo que la variación, en caso de haberla, sería al alza y del 2%. Esto quiere decir que según el fabricante ningún módulo debe estar dando una potencia inferior a la nominal. En todo caso, y para dar un pequeño margen a este dato tomaremos una pérdida del 0,2% a sabiendas que no debería darse.

3.1.7.3.4 Pérdidas angulares y espectrales (Lae)

La potencia de un módulo FV se suele referir a condiciones STC y con una incidencia normal a la superficie y un espectro estándar. Las células FV son espectralmente selectivas generando corrientes diferentes según longitud de onda incidente. Según las condiciones STC el espectro está medido cuando el ángulo de elevación solar es de 42° , es decir $AM=1,5$. Esto supone que el espesor de atmosfera que debe atravesar la radiación es un 50% más que cuando el sol incide sobre la superficie terrestre con un ángulo de 90° , en cuyo caso $AM=1$.

$$AM \approx \frac{1}{\cos(90 - \alpha)}$$

Siendo α el ángulo de elevación solar.

Así pues estas pérdidas pueden oscilar a lo largo del día pero también pueden resultar en ganancia respecto de las condiciones STC (hay que recordar que en verano el sol asciende hasta más de 70° , en cuyo caso $AM \approx 1,15$).

Dada la latitud de Valencia, inferior a los 40° , se podría decir que la media anual podría ser algo inferior a 1,5 por lo que las pérdidas por este efecto serían mínimas. Las situaremos en el 2,5%.

3.1.7.3.5 Pérdidas por error de seguimiento del PMP (Les)

Son las pérdidas que se producen en el inversor cuando no consigue trabajar en el punto de máxima potencia. Punto que varía a cada instante por la irradiancia y la temperatura.

Estas pérdidas se estiman en el 1%.

3.1.7.3.6 Pérdidas en la eficiencia del inversor (Linv)

La eficiencia del inversor, según datos de los fabricantes estudiados está entre el 97% y el 98,5%.

Nos situaremos en el peor de los casos y estimaremos unas pérdidas del 3%.

3.1.7.3.7 Cálculo de la eficiencia de la instalación y de la producción total

Todos las pérdidas señaladas en este punto, más las obtenidas en el punto anterior al calcular la caída de tensión y la sección de los conductores, se calculan y se suman en la tabla siguiente.

AEMET	Horas de sol	Ta-m	Tc	L(Tc)	L(su)	L(DP)	L(a-e)	L(es)	L(inv)	L(elec)	L(tot)	PROD (Heq)	PROD (kWh)
ENERO	176	10,5	41,75	7,54%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	15,74%	148	2002
FEBRERO	172	11,4	42,65	7,94%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	16,14%	144	1947
MARZO	220	13,6	44,85	8,93%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	17,13%	182	2461
ABRIL	238	15,5	46,75	9,79%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	17,99%	195	2635
MAYO	268	18,7	49,95	11,23%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	19,43%	216	2915
JUNIO	294	22,7	53,95	13,03%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	21,23%	232	3126
JULIO	328	25,5	56,75	14,29%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	22,49%	254	3432
AGOSTO	292	25,9	57,15	14,47%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	22,67%	226	3048
SEPTIEMBRE	236	23,0	54,25	13,16%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	21,36%	186	2505
OCTUBRE	207	19,0	50,25	11,36%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	19,56%	167	2248
NOVIEMBRE	168	14,2	45,45	9,20%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	17,40%	139	1873
DICIEMBRE	160	11,2	42,45	7,85%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	16,05%	134	1813
TOTAL AÑO	2759											2223	30008
INE-2013	Horas de sol	Ta-m	Tc	L(Tc)	L(su)	L(DP)	L(a-e)	L(es)	L(inv)	L(elec)	L(tot)	PROD (Heq)	PROD (kWh)
ENERO	189	13,9	45,15	9,07%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	17,27%	156	2111
FEBRERO	189	12,8	44,05	8,57%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	16,77%	157	2124
MARZO	193	15,6	46,85	9,83%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	18,03%	158	2136
ABRIL	221	15,9	47,15	9,97%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	18,17%	181	2441
MAYO	270	18,3	49,55	11,05%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	19,25%	218	2943
JUNIO	306	21,8	53,05	12,62%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	20,82%	242	3271
JULIO	329	26	57,25	14,51%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	22,71%	254	3433
AGOSTO	248	25,7	56,95	14,38%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	22,58%	192	2592
SEPTIEMBRE	249	24,2	55,45	13,70%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	21,90%	194	2625
OCTUBRE	230	22,4	53,65	12,89%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	21,09%	181	2450
NOVIEMBRE	207	15,9	47,15	9,97%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	18,17%	169	2287
DICIEMBRE	158	12,4	43,65	8,39%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	16,59%	132	1779
TOTAL AÑO	2789											2236	30192
PVGIS	Horas de sol	Ta-m	Tc	L(Tc)	L(su)	L(DP)	L(a-e)	L(es)	L(inv)	L(elec)	L(tot)	PROD (Heq)	PROD (kWh)
ENERO	170	9,9	41,15	7,27%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	15,47%	144	1940
FEBRERO	185	10,9	42,15	7,72%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	15,92%	156	2100
MARZO	247	13,5	44,75	8,89%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	17,09%	205	2765
ABRIL	263	15,6	46,85	9,83%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	18,03%	216	2910
MAYO	299	19,2	50,45	11,45%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	19,65%	240	3243
JUNIO	312	23,7	54,95	13,48%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	21,68%	244	3299
JULIO	327	26,5	57,75	14,74%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	22,94%	252	3402
AGOSTO	293	26,2	57,45	14,60%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	22,80%	226	3054
SEPTIEMBRE	243	22,5	53,75	12,94%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	21,14%	192	2587
OCTUBRE	218	19,1	50,35	11,41%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	19,61%	175	2366
NOVIEMBRE	173	13,5	44,75	8,89%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	17,09%	143	1936
DICIEMBRE	153	10,7	41,95	7,63%	0,50%	0,20%	2,50%	1,00%	3,00%	1,00%	15,83%	129	1739
TOTAL AÑO	2883											2322	31341

Tabla 17: Producción estimada según fuente

Se compara la producción energética a partir de los datos de horas de sol mensual y anual y de la temperatura diurna media mensual obtenida de AEMET (Agencia Española de METeorología), del INE (Instituto Nacional de Estadística para el año 2013) y de PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System del Joint Research Centre “Comisión Europea”).

La producción estimada se sitúa, entre 30 MW según AEMET, 30.2 MW según INE y 31,3 MW según PVGIS.

Si tomamos el dato, ya calculado, directamente de la web de PVGIS...



JRC
EUROPEAN COMMISSION

Sistema de Información geográfica fotovoltaica

European Commission
Joint Research Centre
Ispra, Italy

Rendimiento del sistema FV conectado a red

PVGIS estimación de la producción de electricidad solar

Lugar: 39°28'11" Norte, 0°22'34" Oeste, Elevación: 31 m.s.n.m.
Base de datos de radiación solar empleada: PVGIS-CMSAF

Potencia nominal del sistema FV: 1.0 kW (silicio cristalino)
Pérdidas estimadas debido a la temperatura y niveles bajos de irradiancia: 10.0% (utilizando la temperatura ambiente)
Pérdidas estimadas debido a los efectos de la reflectancia angular: 2.4%
Otras pérdidas (cables, inversor, etc.): 10.0%
Pérdidas combinadas del sistema FV: 21.0%

Sistema fijo: inclinación=36 grados, orientación=0 grados (óptimo)				
Mes	Ed	Em	Hd	Hm
Ene	3.58	111	4.27	132
Feb	4.25	119	5.17	145
Mar	5.02	156	6.24	193
Abr	5.12	154	6.47	194
Mayo	5.23	162	6.73	209
Jun	5.35	160	7.01	210
Jul	5.42	168	7.20	223
Ago	5.20	161	6.88	213
Sep	4.80	144	6.23	187
Oct	4.33	134	5.50	171
Nov	3.70	111	4.51	135
Dic	3.25	101	3.87	120
Año	4.61	140	5.84	178
Total para el año		1680		2130

Seguidor solar 2 ejes				
Mes	Ed	Em	Hd	Hm
Ene	4.56	141	5.48	170
Feb	5.43	152	6.61	185
Mar	6.45	200	7.98	247
Abr	6.99	210	8.76	263
Mayo	7.59	235	9.66	299
Jun	8.03	241	10.40	312
Jul	8.04	249	10.60	327
Ago	7.21	224	9.45	293
Sep	6.29	189	8.10	243
Oct	5.52	171	7.02	218
Nov	4.70	141	5.77	173
Dic	4.13	128	4.95	153
Año	6.25	190	7.90	240
Total para el año		2280		2880

Ed: Producción de electricidad media diaria por el sistema dado (kWh)
Em: Producción de electricidad media mensual por el sistema dado (kWh)
Hd: Media diaria de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado (kWh/m²)

Da 2280kWh por kW instalado lo que llevaría a una producción anual de...

$$Producción\ anual = 2280 \frac{kWh}{kW_{inst}} * 13.5kW_{inst} = 30,78MW$$

Si promediamos la producción según los diferentes datos, obtenemos una producción de...

$$Producción\ anual = 30,4\ MW \quad entre[30,0 - 31,3]MW$$

Hay una variación de apenas el 3% entre la previsión más baja y la más alta.

Esto supone que respecto de la previsión inicial de producir 30,78 MW, y con la producción media, hay una variación a la baja del 1,2% lo que supondría producir, si toda la energía se utilizara para producir hidrógeno, unos 553 kg anuales (7 kg menos de lo inicialmente estimado).

Esto no será así porque, siempre que la demanda sea significativamente inferior a la producción, parte de la energía se destinará a la alimentación del grupo de presión.

3.1.8 DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

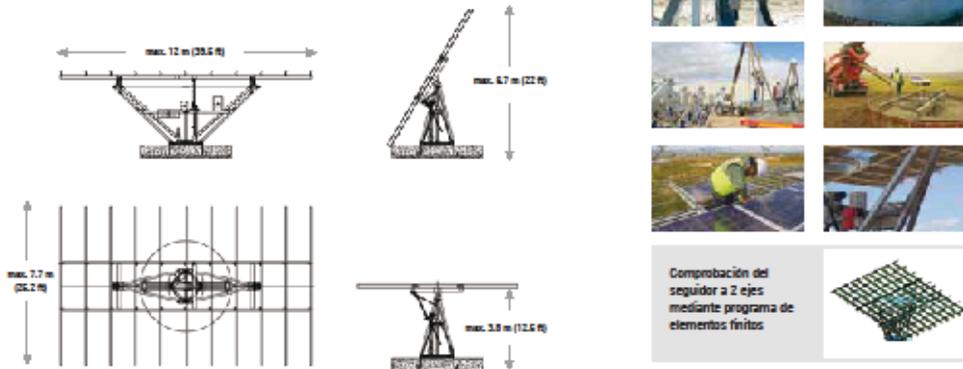
Aunque en el mercado hay muchos fabricantes con similares calidades, se detallan, a modo de ejemplo los siguientes...

3.1.8.1 SEGUIDOR SOLAR

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Eje de seguimiento	2 EJE: Horizontal y Vertical	Armario de acometida	Metálicos, estancos, totalmente cableados IP55 incluye protecciones sobretensión AC, pias y diferencial (sólo para MS TRACKER +)
Superficie máxima de módulos	92 m ²	Tecnología de seguimiento	Programación astronómica de PLC independiente
Potencia fotovoltaica máxima	13,16 kWp (en función de la eficiencia de los módulos)	Monitorización	In situ, Ethernet, Internet (OPCIONAL)
Accionamiento azimutal	Mediante motorreductor y corona dentada	Módulos a instalar	Cualquier tipo de modulo FV Opcional, periferia portamódulos
Ángulos de giro azimutal	Eje vertical: -120° a +120°	Peso máximo de módulos	1.250 kg
Accionamiento inclinación	Gato Mecánico de accionamiento eléctrico	Sistema protección contra viento	Programable. Posicionamiento en horizontal y en veleta a velocidades mayores de 70 km/h (por medio de resbalamiento en motorreductor)
Inclinación motorizada	Regulable de 0° a 60°	Cimentación	Cimentación superficial circular, 7,5 m ² homigón con mallazo. Pernos de anclaje opcional, anclaje por tornillo directo
Altura del seguidor a 60°	6,7 m (desde suelo a módulos superiores)	Cumple normativa	EUROCODE 0 EUROCODE 1 EUROCODE 3 CE
Consumo de motor	100 kWh/año	Mantenimiento	Revisión anual de partes mecánicas y eléctricas para mantener la vigencia de garantía
Alimentación de servicio a motor	380 V Trifásico		
Estructura	Estructura acero galvanizado por inmersión en caliente		
Diseño estructura	Estructura "V" sobre corona dentada		
Peso sin módulos y sin cimentación	3.000 kg		
Armarios eléctricos de automatización y protección	Metálicos, estancos, totalmente cableados IP66 Incluye automatización, cableado hasta motor y protección del mismo		

ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA



MECASOLAR - ES 07/14



HEADQUARTERS
Pol. Ind. Santos Justo y Pastor, s/n,
31510 Fustiñana, Navarra
ESPAÑA
Tfno.: (+34) 902 107 049
(+34) 948 840 993
Fax: (+34) 902 108 402
(+34) 948 840 702
mecasolar@mecasolar.com

GRECIA
Αγία Σοφίας 27,
Θεσσαλονίκη,
TK 54248
Ελλάδα
Tfno.: (+30) 2310 799 209
Fax: (+30) 2310 570 597
hellas@mecasolar.com

INDIA
Ground floor, Ismail Building,
D. N. Road
Flora Fountain,
Mumbai -400001
INDIA
Tfno.: (+91) 022 - 4348 4019
Fax: (+91) 022 - 4348 4001
india@mecasolar.com



USA - CANADA
3410 Industrial BLVD, Suite 102
West Sacramento, 95891 CA
USA
Tfno.: (+1) 916 374 8722
Fax: (+1) 916 374 8063
usa@mecasolar.com
canada@mecasolar.com

3.1.8.2 MODULO FOTOVOLTAICO

Por ejemplo este de TAMESOL, con muy buena relación calidad/precio.

TM-P660230/250

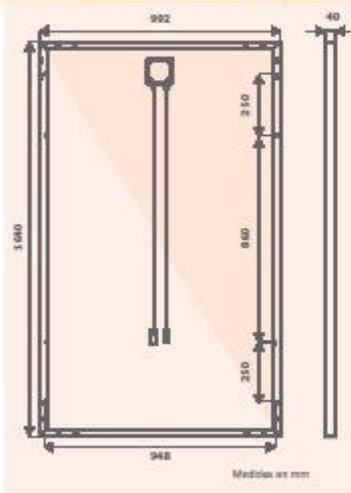
TM-SERIE POLICRISTALINO



CARACTERÍSTICAS

- ✓ Módulo de alta eficiencia en conversión de hasta el 15,37%, gracias a la superior tecnología de fabricación.
- ✓ 0/+5W tolerancia de potencia garantizada.
- ✓ Módulos robustos y libres de corrosión. Todo el módulo está certificado para soportar las altas cargas de viento (2400Pa).
- ✓ Excelente rendimiento bajo condiciones de poca luz.
- ✓ Certificados internacionales que garantizan la mejor calidad y rendimiento.
- ✓ Proceso de fabricación certificado bajo la norma ISO 9001.
- ✓ Diseño mejorado para una fácil instalación y fiabilidad a largo plazo.

CROQUIS DE INGENIERÍA DEL MÓDULO



GARANTÍA

Garantía Europea.

Ver condiciones de garantía para obtener más detalles.

1. +2 años de extensión de garantía de producto.
2. Disminución salida de potencia anual. Año 25 potencia nominal no inferior al 80%.

10+2
años de garantía
de producto*

15.37%
eficiencia

25
años de garantía
de potencia*

DATOS ELÉCTRICOS STC

	TM P660250	TM P660245	TM P660240	TM P660235	TM P660230
Máxima Potencia Nominal (Pmax)	250 W	245 W	240 W	235 W	230 W
Voltaje Óptimo de Trabajo (Vmp)	30.1 V	29.9 V	29.7 V	29.5 V	29.3 V
Corriente Óptima de Trabajo (Imp)	8.30 A	8.19 A	8.08 A	7.96 A	7.84 A
Voltaje en circuito abierto (Voc)	37.9 V	37.7V	37.5 V	37.3 V	37.2 V
Corriente en cortocircuito (Isc)	8.65 A	8.57 A	8.48 A	8.40 A	8.31 A
Eficiencia del módulo	15.37%	15.06%	14.75%	14.44%	14.14%
Tolerancia de Potencia	0/+5 W				
Voltage máx. del sistema	1.000 V (IEC) / 600V (UL)				
Valor máximo del fusible en serie	15 A				
Rango de temperatura de trabajo	-40 °C to +85 °C				

Características eléctricas en condiciones estándar (STC)

Condiciones STC: Irradiancia: 1.000W/m², temperatura de célula: 25°C, AM=1.5

DATOS ELÉCTRICOS NOCT

	TM P660250	TM P660245	TM P660240	TM P660235	TM P660230
Máxima Potencia Nominal (Pmax)	182 W	178 W	175 W	171 W	167 W
Voltaje Óptimo de Trabajo (Vmp)	27.5 V	27.3 V	27.1 V	26.8 V	26.5 V
Corriente Óptima de Trabajo (Imp)	6.62 A	6.53 A	6.46 A	6.38 A	6.30 A
Voltaje en circuito abierto (Voc)	34.8 V	34.7V	34.5 V	34.4 V	34.2 V
Corriente en cortocircuito (Isc)	7.04 A	6.99 A	6.93 A	6.88 A	6.82 A

Características eléctricas a condiciones normales de trabajo (NOCT)

Condiciones NOCT: Irradiancia: 800W/m², temperatura ambiente: 20°C, AM=1.5, velocidad del viento: 1m/s

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Células solares	Silicona policristalina 156x156 mm
Disposición de células	60 células en serie
Dimensiones	1640x992x40 mm
Peso	21.5 kg
Máx. carga estática, frontal (nieve)	5400 Pa
Máx. carga estática, trasera (viento)	2400 Pa
Cubierta frontal	Cristal templado bajo en hierro 3.2 mm
Marco	Aleación de aluminio anodizado
Encapsulante	EVA (etileno vinil acetato)
Caja de conexiones	IP65
Diodos de derivación	3
Cables (longitud/ sección)	1.000 mm / 4 mm ² (IEC) 12AWG (UL)
Conectores	MC4

VALORES DE TEMPERATURA

NOCT	45 ± 2°C
Coefficiente de temperatura (Pmax)	-0.45 %/°C
Coefficiente de temperatura (Voc)	-0.34 %/°C
Coefficiente de temperatura (Isc)	0.06 %/°C

EMBALAJE

Módulos por palé	26
Palés por contenedor HC (40')	28

La capacidad máxima por contenedor es de 784 módulos.

CERTIFICACIONES



3.1.8.3 INVERSOR

Por ejemplo este de REFUSOL, con una buena eficiencia.

refusol.com

TECHNICAL DATA	REFUSol 008K	REFUSol 010K	REFUSol 013K	REFUSol 017K	REFUSol 020K
Item no.	B03R008	B03R010	B08R013	B08R017	B08R020
DC DATA					
Recommended max. PV power, kWp	9.9	12.0	15.6	20.4	24.0
MPPT range, V	370 ... 850	410 ... 850	430 ... 850	460 ... 850	490 ... 850
DC start voltage, V	350				
Max. DC voltage, V	1000				
Max. DC current, A	23.0	25.0	31.1	38.3	41.8
MPP tracker	1				
Number of DC connections	3 x MC4		4 x MC4	6 x MC4	
DC Isolator	Yes				
AC DATA					
Rated AC power, kW	8.25	10.0	13.0	17.0	20.0
Max. apparent power, kVA	8.25	10.0	13.0	17.0	20.0
AC power supply connection	L1, L2, L3, N, PE				
Rated power factor / range	1 / 0.8l ... 0.8c				
Rated voltage AC, V	400				
Voltage range AC, V	320 ... 460				
Rated frequency / frequency range, Hz	50, 60 / 45 ... 65				
Max. AC current, A	3 x 12	3 x 16	3 x 21	3 x 29	3 x 29,2
Max. distortion factor THD, %	2.5	1.8	2.5	1.8	
Max. efficiency, %					98.2
European efficiency					97.8
Feed-in starting at, V _{ov}	∞				
Internal consumption in night operation, W	< 0.5				
FEATURES					
Cooling	Natural convection				
Ambient temperature, °C	-25 ... +55				
Relative ambient humidity, %	0 ... 100				
Site altitude, m	2000				4000*
Noise level, dBA	< 45				
Internal overvoltage protection (EN 61643-11)	Type 3				
Protection class (IEC 62103)	I				
Overvoltage category (EN 60664-1)	DC: II, AC: III				
Environmental classifications IEC 721-3-4	4K4H				
Certificates	Current certificates can be found at http://europe.refusol.com/certifications.pdf				
Automatic disconnection	Acc. to VDE 0126-1-1				
GENERAL DATA					
Interfaces	Ethernet, RS485, Isolation and Irradiation sensor				
Protection class (IEC 60529)	IP65				
Dimensions w x h x d, mm	535 x 601 x 225		535 x 601 x 277		
Weight, kg	28.5	32.2	38.4		

*Observe derating of the DC voltage.

Subject to modification. Technical specifications are subject to change without notice.

REFUSol GmbH | Uracher StraÙe 91 | 72555 Metzingen | Germany | Tel. +49 7123 969-0 | Fax +49 7123 969-165 | info@refusol.com

REFUSol_008-020K_Datasheet_BH-176-20190205

3.1.8.4 HIDROLIZADOR

Hay mucho donde elegir y habría que decantarse, por el que se adecúe mejor a las necesidades

4/8/2015

Accadue - Media producción

- **Tecnología**
 - Hidrógeno y energías renovables
 - Electrolisis
 - Usos Industriales
- **Productos**
 - Baja producción
 - Media producción
 - Alta producción

Electrolizadores alcalinos Media Producción

A continuación se describen las especificaciones técnicas de los equipos de media producción y alta eficiencia.

Especificaciones del electrolizador de Media Producción

Producción nominal del stack, hidrógeno	Nm ³ /h	2	6	10
Producción del stack, oxígeno	Nm ³ /h	1	2,5	5
Preción máxima de entrega	bar(g)	30	30	30
Temperatura de operación, mínima - máxima	°C	5 - 80	5 - 80	5 - 80
Temperatura ambiente	°C	-25 / +40	-25 / +40	-25 / +40
Temperatura del habitáculo	°C	+2 / +40	+2 / +40	+2 / +40
Concentración del electrolito (KOH aq)	% peso	25 - 30	25 - 30	25 - 30
O2 en H2, directo del stack	% vol.	< 0,1	< 0,1	< 0,1
H2 en O2, directo del stack	% vol.	< 0,2	< 0,2	< 0,2
KOH en H2	mg/Nm ³	< 1	< 1	< 1
Área activa de la celda	cm ²	500	500	500
Densidad de corriente de la celda	A/m ²	4000	4000	4000
Consumo de agua desmineralizada	L/h	4,50	4,5	9
Conductividad del agua desmineralizada	uS/cm	< 5	< 5	< 5
Consumo de nitrógeno (en cada parada)	NL	350	1500	2000
Potencia consumida por el stack	KW	9,40	24	47
Potencia consumida por los auxiliares	kW	0,8	0,8	0,8
Refrigeración necesaria	kW térmicos	3	7,5	15
Dimensiones				
Módulo electrolizador	mm	1200x1000x2050	2200x1300x2300	2000x1600x2300
Panel de control	mm	400x1000x1900	1000x600x2100	1000x1400x2100

Con el apoyo y la financiación de:



6. TECHNICAL SPECIFICATIONS

PROPERTY	UNIT	HYLYZER™-1	HYLYZER™-2
ELECTROLYSER			
Model	-	HyLYZER™-1	HyLYZER™-2
Type	-	Proton Exchange Membrane Electrolyser	
System efficiency	kWh/Nm ³	6.7	
Net Production after Dryer	Nm ³ /h (scfh)	1 Nm ³ /h (38 scfh)	2 Nm ³ /h (76 scfh)
Turndown Ratio	%	0 to 100% (user selectable)	
Electrolyser Output Pressure	barg (psig)	0 – 7.9 (0 – 115)	
Hydrogen Purity	%	>99.998%	
O ₂	ppm	< 2	
N ₂	ppm	< 2	
Atm. Dew Point After Dryer	°C	< -57 (15 ppm v/v)	
Power Supply		208/120,3 phase,4 wire+gnd,50/60 Hz 200-260,1 phase,2 wire+gnd, 50/60 Hz Direct connection to DC possible upon request.	
Cooling Requirements	-	Air-cooled	
OPERATING CONDITIONS			
Site	-	Indoor, in a non-hazardous, non-classified area	
Ambient Temperature Range	°C	+5 to +40	
Relative Humidity	%	0% to 90% - non condensing	
Altitude	m	1520 (higher altitudes available on request)	
ENCLOSURE DIMENSIONS			
Cabinet (WxDxH)	m	0.75 x 0.66 x 1.17	1.30 x 1.00 x 1.25
Total Mass	kg	250	275



Technical specifications

MODEL	HySTAT®-10-10	HySTAT®-15-10	HySTAT®-10-25
Operating Pressure	10 barg		
Max. Nominal Hydrogen Flow	10 Nm ³ /h	15 Nm ³ /h	10 Nm ³ /h
Hydrogen Flow range	40 - 100% (25 - 100% as an option)		
Hydrogen Purity (before HPS)	99,9%; H ₂ O saturated; O ₂ < 1,000 ppm		
Hydrogen Purity (after HPS)	99,998% (99,999% as an option); O ₂ < 2ppm; N ₂ < 12ppm; Atm. Dew point: -60°C or -76°F (-75°C or -103°F as an option)		
Nr. of cell stacks	1		
Estimated AC power consumption (all included)	4,9 kWh/Nm ³ at full load		
Voltage	3 x 400 VAC ± 3% (3 x 480 or 575 VAC ± 3% as an option)		
Frequency	50 Hz ± 3% (60 Hz ± 3% as an option)		
Installed power	100 KVA	120 KVA	100 KVA
Max. cooling water T° (electrolyte)	40°C	40°C	30°C
Design flow cooling water (electrolyte)	2 m ³ /h		
Max. cooling water T° (gas cooling)	15°C		
Design flow cooling water (gas cooling)	0,15 m ³ /h		
Deminerallized water consumption	< 1 liter/Nm ³ H ₂		
Electrolyte	H ₂ O + 30% wt. KOH		
Approx. Electrolyte Quantity	300 L		
Installation Area	Indoor, in dedicated building		
Ambient Temperature Range	+5°C to +40°C		
Dimensions Process Part (LxWxH)**	1,7m x 1,85m x 2,6m		
Dimensions Power Rack (LxWxH)	0,9m x 0,9m x 2,3m		
Dimensions Control Panel (LxWxH)	1,0m x 0,5m x 2,1m		
Approx. empty Weight Process Part	1.350 kg	1.500 kg	1.400 kg
Weight Power Rack	750 kg		
Weight Control Panel	400 kg		

(*) HPS = hydrogen purification system
(**) Including "ATEX" enclosure

HYDROGENICS
Advanced Hydrogen Solutions

Hay muchísimos más en el mercado como por ejemplo Proton On Site, uno de los principales productores norteamericanos, o también Chinos como Suzhou Jingli Hydrogen Production Equipment Co., Ltd. Productores que construyen, además de por catálogo, bajo pedido con especificaciones según necesidades.

3.1.8.5 PROGRAMA PARA SEGUIMIENTO SOLAR

projecteGRAU.pm3 - v1.0



PROJECTE-GRAU

Información de programación

Autor : VICENT MARGAIX PIQUER

Nombre del documento : PROJECTE-GRAU

Versión : 1.0

Controlador : CD12 230VAC SMART

Duración del ciclo de base del controlador : 5 x 2 ms

Acción del WATCHDOG : No activo

Acceso restringido al menú 'Parámetros' del panel frontal del controlador

Formato de la fecha : dd/mm/yyyy

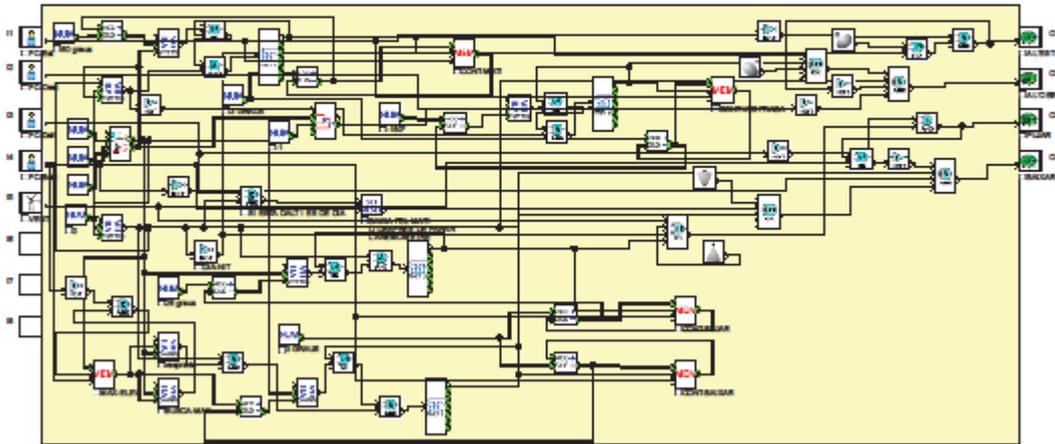
Cambio de horario de verano/invierno activo

Zona : Europa

Cambio a horario de verano : Marzo, último domingo

Cambio a horario de invierno : Octubre, último domingo

Esquema del programa



Entradas físicas

Entrada	N.º	Símbolo	Función	Modif.	Parámetros	Comentario
I1	B75		Detector de posición	—	No hay parámetros	FO-Est
I2	B76		Detector de posición	—	No hay parámetros	FO-Oest
I3	B77		Detector de posición	—	No hay parámetros	FO-Dait
I4	B78		Detector de posición	—	No hay parámetros	FO-Bair
I5	B79		Entrada DIG	—	No hay parámetros	VENT

Teclas del controlador

N.º	Símbolo	Función	Comentario
B57		Tecla A	
B58		Tecla B	
B59		Tecla MENOS	
B60		Tecla MAS	

Salidas físicas

Salida	N.º	Símbolo	Función	Comentario
O1	B71		Motor	A LE EST
O2	B72		Motor	A LOEST
O3	B73		Motor	PUJAR
O4	B74		Motor	BAIXAR

Funciones configurables

N.º	Símbolo	Función	Modif.	Guardar en caso de corte de red	Parámetros	Comentario
B01	NUM	Constante numérica	No	—	Valor de la constante : 3855	
B02	NUM	Constante numérica	No	—	Valor de la constante : -112	
B03	NUM	Constante numérica	No	—	Valor de la constante : 60	
B04		Comparación de 2 valores	—	—	VALEUR 1 \geq VALEUR 2	

N.º	Símbolo	Función	Modif.	Guardar en caso de corte de red	Parámetros	Comentario
B05	NUM	Constante numérica	No	—	Valor de la constante : 300	3 GRAUS
B06	NUM	Constante numérica	No	—	Valor de la constante : 2500	25 graus
B07	MEM	MEMORIA	—	SI	GUARDAR : 0-ª A	MAX-ELEV
B08	ACC + SUB -	SUMRES	—	—	Ver detalles a más distancia	
B09	ACC + SUB -	SUMRES	—	—	Ver detalles a más distancia	
B10	VI VIA 004-FRE	Comparación de 2 valores	—	—	VALEUR 1 > VALEUR 2	BUSCA-MAX
B11	VI VIA 004-FRE	Comparación de 2 valores	—	—	VALEUR 1 > VALEUR 2	vesprada
B12	ACC + SUB -	SUMRES	—	—	Ver detalles a más distancia	
B13	MEM	MEMORIA	—	SI	GUARDAR : 0-ª A	CONT-FUJAR
B14	ACC + SUB -	SUMRES	—	—	Ver detalles a más distancia	
B15	MEM	MEMORIA	—	SI	GUARDAR : 0-ª A	CONT-BAXAR
B16	VI VIA 004-FRE	Comparación de 2 valores	—	—	VALEUR 1 < VALEUR 2	
B17	VI VIA 004-FRE	Comparación de 2 valores	—	—	VALEUR 1 > VALEUR 2	
B18	NUM	Constante numérica	No	—	Valor de la constante : 0	0
B19	NOT	NO lógico	—	—	No hay parámetros	DIA-NIT
B20	ACC + SUB -	SUMRES	—	—	Ver detalles a más distancia	
B21	NUM	Constante numérica	No	—	Valor de la constante : 6000	60 graus
B22	ACC + SUB -	SUMRES	—	—	Ver detalles a más distancia	
B23	ACC + SUB -	SUMRES	—	—	Ver detalles a más distancia	
B24	ACC + SUB -	SUMRES	—	—	Ver detalles a más distancia	
B25	MEM	MEMORIA	—	SI	GUARDAR : 0-ª A	CONT-MATI
B26	MEM	MEMORIA	—	SI	GUARDAR : 0-ª A	CONT-VE SPRADA
B27	VI VIA 004-FRE	Comparación de 2 valores	—	—	VALEUR 1 < VALEUR 2	

N.º	Símbolo	Función	Modif.	Guardar en caso de corte de red	Parámetros	Comentario
B28		Comparación de 2 valores	—	—	VALEUR 1 < VALEUR 2	
B29		Comparación de 2 valores	—	—	VALEUR 1 ≤ VALEUR 2	
B30		Constante numérica	No	—	Valor de la constante : 18000	-180°
B31		Constante numérica	No	—	Valor de la constante : 300	3 GRAUS
B36		Y LÓGICA CON 2 ENTRADAS	—	—	No hay parámetros	SI ESTA DALT I ES DE DIA
B37		Búsqueda RS	—	SI	Prioridad : RESET prioritario	BAIXA PEL MATI O DESPRES DE PARAR L'ANEMOMETRE
B47		Constante numérica	No	—	Valor de la constante : -1	-1
B48		Doble temporización	No	SI	Tiempo de marcha : 0H 0M 12S Tiempo de parada : 0H 0M 1S Función L: - Destello continuo	
B49		Doble temporización	No	SI	Tiempo de marcha : 0H 0M 19S Tiempo de parada : 0H 0M 1S Función L: - Destello continuo	
B50		Doble temporización	No	SI	Tiempo de marcha : 0H 0M 19S Tiempo de parada : 0H 0M 1S Función L: - Destello continuo	
B51		Doble temporización	No	SI	Tiempo de marcha : 0H 0M 12S Tiempo de parada : 0H 0M 1S Función L: - Destello continuo	

SUMRES

B08		SUMRES
Suma/Resta : Suma		

B09		SUMRES
Suma/Resta : Suma		

B12		SUMRES
Suma/Resta : Resta		

B14		SUMRES
Suma/Resta : Suma		

B20		SUMRES
Suma/Resta : Suma		

B22		SUMRES
Suma/Resta : Resta		

projecteGRAU.pm3 - v1.0



PROYECTE-GRAU

B23	ΔP^+	SUMRES
	ΔP^-	
Suma/Resta : Suma		

B24	ΔU^+	SUMRES
	ΔU^-	
Suma/Resta : Suma		

3.2 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

3.2.1 PARTIDAS

PARTIDA	CONCEPTO	UDS	PRECIO	TOTAL
1	GENERADOR FOTOVOLTAICO: Suministro e instalación de un seguidor solar de 90 m ² , con su sistema de seguimiento y 54 módulos fotovoltaicos de 250Wp y de un inversor de trifásico de potencia $\geq 13,5$ kW	1	14632.20	14632.20

PARTIDA	CONCEPTO	UDS	PRECIO	TOTAL
2	INSTALACIÓN ELÉCTRICA CORRIENTE CONTINUA: Suministro e instalación de un cuadro de protección en la base del seguidor; un cuadro de protección y corte de suministro a la entrada del inversor; Una línea de corriente continua entre series de módulos fotovoltaicos y cuadro de protección y otra línea entre cuadro de protección e inversor.	1	451.11	451.11

PARTIDA	CONCEPTO	UDS	PRECIO	TOTAL
3	INSTALACIÓN ELÉCTRICA CORRIENTE ALTERNA: Suministro e instalación de una línea trifásica entre el cuadro general de protección y mando de la gasolinera y el cuadro del seguidor, éste incluido; Línea trifásica entre cuadro del seguidor y los motores azimut y elevación	1	953.16	953.16

PARTIDA	CONCEPTO	UDS	PRECIO	TOTAL
4	OBRA CIVIL INSTALACIÓN ELÉCTRICA: Excavación y posterior hormigonado de 7,5m ³ de zapata para sujeción del seguidor, según especificaciones del fabricante incluidas en la memoria y abrir y tapar zanjas para conducción desde el cuadro general de protección y mando de la gasolinera hasta el cuadro de alterna del seguidor y desde el cuadro del seguidor al cuadro de continua del inversor	1	2192.50	2192.50

3.2.2 DESCOMPUESTO

Descompuesto	Ud	PARTIDA 1(Generador Fotovoltaico)	UDS	PRECIO	TOTAL
1	u	Seguidor Solar a 2 ejes de 90 m ² con capacidad para albergar 54 módulos fotovoltaicos.	1	5094.00	5094.00
2	u	Módulo solar fotovoltaico policristalino de 250Wp de potencia nominal y medidas 1640x992x40mm	54	120.00	6480.00
3	u	Motor trifásico 0,25kW con reductora	2	185.00	370.00
4	u	Picas de tierra de 2 m y 14mm con brida y cable 35 mm ²	2	32.00	64.00
5	u	Anemómetro	1	89.00	89.00
6	u	Inversor tipo REFUsol 013K	1	2039.00	2039.00
7	u	Final de carrera estanco	4	19.55	78.20
8	h	Mano de obra montaje por oficial 1ª electricista	8	22.00	176.00
9	h	Mano de obra ayudante electricista	8	17.00	136.00
TOTAL GENERADOR FOTOVOLTAICO					14526.20

Descompuesto	Ud	PARTIDA 2(Instalación eléctrica corriente continua)	UDS	PRECIO	TOTAL
1	u	Caja estanca de 342x253mm para cuadro seguidor, sobre su peana, con 6 fusibles de 10x38 y 10A con sus bases seccionables de 1000Vcc - 20kA, UR (gPV) y un limitador de sobretensiones transitorias, según esquema del Plano 1	1	183.91	183.91
2	m	Manguera RVK 0.6/1kV 2x4mm ² línea LCC2	15	1.29	19.35
3	m	Cable 1x10 mm ² RVK 0.6/1kV línea LCC3 con tubo	60	1.54	92.40
4	u	Cuadro de continua, junto al inversor según plano 1, con dos bases y fusibles de 10x38 y un interruptor seccionador.	1	144.45	144.45
5	h	Mano de obra Instalación oficial 1ª electricista	3	22.00	66.00
6	h	Mano de obra Instalación ayudante electricista	3	17.00	51.00
TOTAL INSTALACIÓN ELÉCTRICA CONTINUA					557.11

Descompuesto	Ud	PARTIDA 3(Instalación eléctrica corriente alterna)	UDS	PRECIO	TOTAL
1	u	Armario estanco poliéster con protección IP65 de 2x18 módulos (para cuadro alterna 1), prensaestopas, carril DIN, un interruptor general tetrapolar, un diferencial 4x25A 300mA, un magnetotérmico tripolar 3x6A, un diferencial de I+N 25A 300mA, un magnetotérmico I+N 6A, 2 contactores inversores con guardamotor trifásicos con bobina a 380V y un autómata programable a 230V tipo Millenium3 de Cruzet	1	425.54	425.54
2	u	Armario estanco poliéster con protección IP65 de 18 módulos (para cuadro alterna 2), prensaestopas, carril DIN, un magnetotérmico general 3x40A, un diferencial general 4x25A 300mA, un magnetotérmico 3x25A para el electrolizador y un magnetotérmico de 3x10A para el compresor.	1	239.70	239.70
3	m	Manguera RVK 0.6/1kV 4x1,5mm ² línea LCA4, bajo tubo corrugado de 20 mm	30	1.20	36.00
4	m	Manguera RVK 0.6/1kV 4x1,5mm ² línea LCA5	8	0.99	7.92
5	h	Mano de obra Instalación oficial 1ª	8	22.00	176.00
6	h	Mano de obra Instalación ayudante electricista	4	17.00	68.00
TOTAL INSTALACIÓN ELÉCTRICA ALTERNA					953.16

Descompuesto	Ud	PARTIDA 4(Obra Civil Instalación Eléctrica)	UDS	PRECIO	TOTAL
1	m ³	Excavación y posterior hormigonado de 7,5m ³ de zapata para sujeción del seguidor (m.o. incluida)	7.5	135.00	1012.50
2	m	Zanja de 0.4x0.9 para conducción de alimentación del cuadro de alterna 1 del seguidor desde el CGMP y desde el cuadro de alterna 1 al cuadro de continua del inversor (m.o. incluida)	50	23.60	1180.00
TOTAL OBRA CIVIL INSTALACIÓN ELÉCTRICA					2192.50

3.2.3 TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL

PARTIDA	REND	CANTIDAD	TOTAL
Partida 1 (Generador Fotovoltaico)	1	13.187,20	14.526,20
Partida 2 (Instalación eléctrica corriente continua)	1	311,11	557,11
Partida 3 (Instalación eléctrica corriente alterna)	1	978,16	953,16
Partida 4 (Obra civil)	1	2.192,50	2.192,50
TOTAL PRESUPUESTO SIN IVA			18.228,97

3.2.4 TOTAL DEL PRESUPUESTO

CONCEPTO	REND	CANTIDAD	TOTAL
TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL	1	18.228,97	18.228,97
GASTOS DE DIRECCIÓN INCLUIDO PROYECTO	8%	18.228,97	1.458,32
BENEFICIO INDUSTRIAL	12%	18.228,97	2.187,48
TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN POR CONTRATA			21.874,77

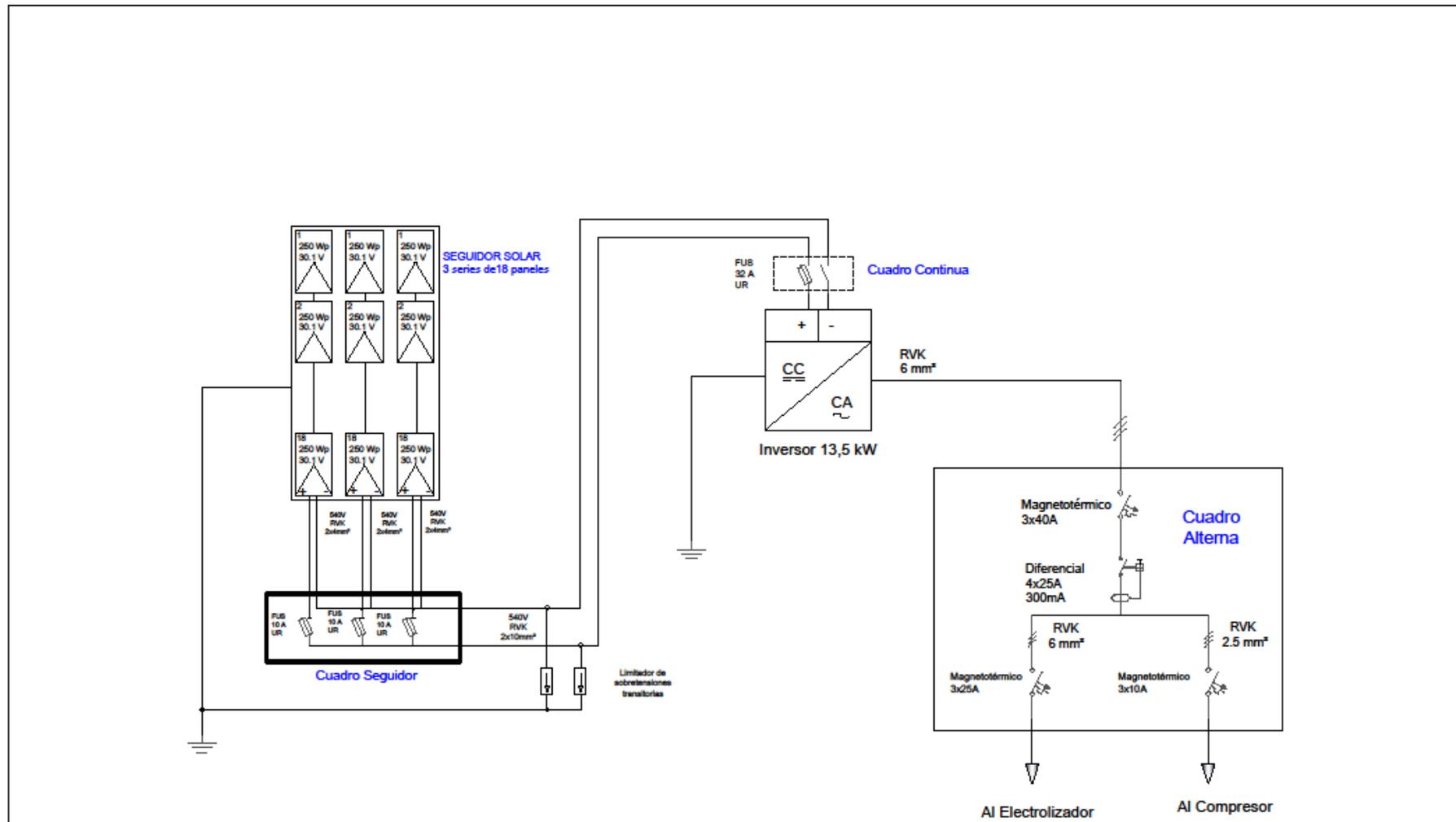
El presupuesto asciende a veintiún mil ochocientos setenta y cuatro euros con setenta y siete céntimos.

3.3 PLANOS

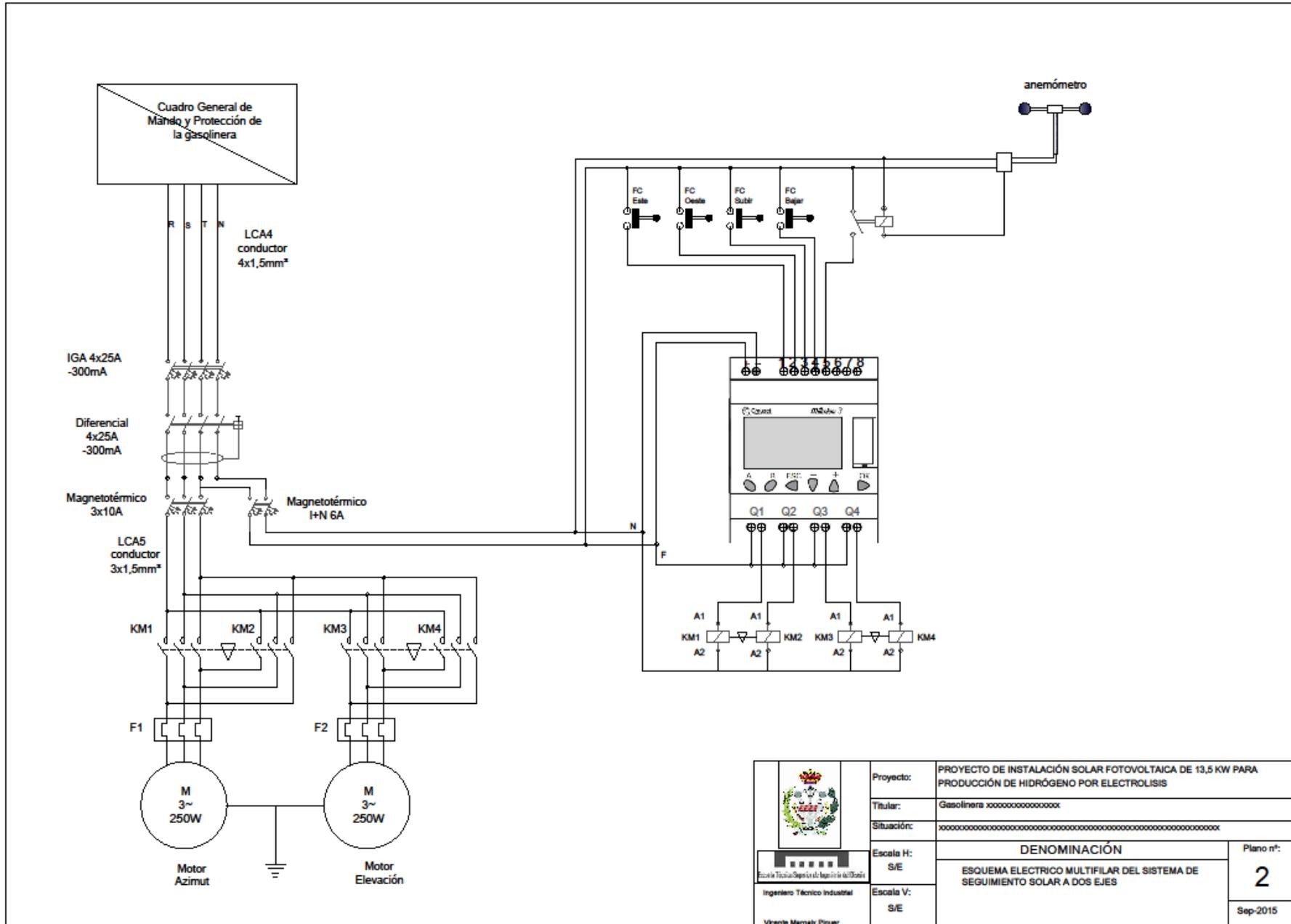
- ❖ PLANO 1: Esquema eléctrico del generador fotovoltaico, y suministro al electrolizador y compresor

- ❖ PLANO 2: Esquema eléctrico multifilar del sistema de seguimiento solar a dos ejes

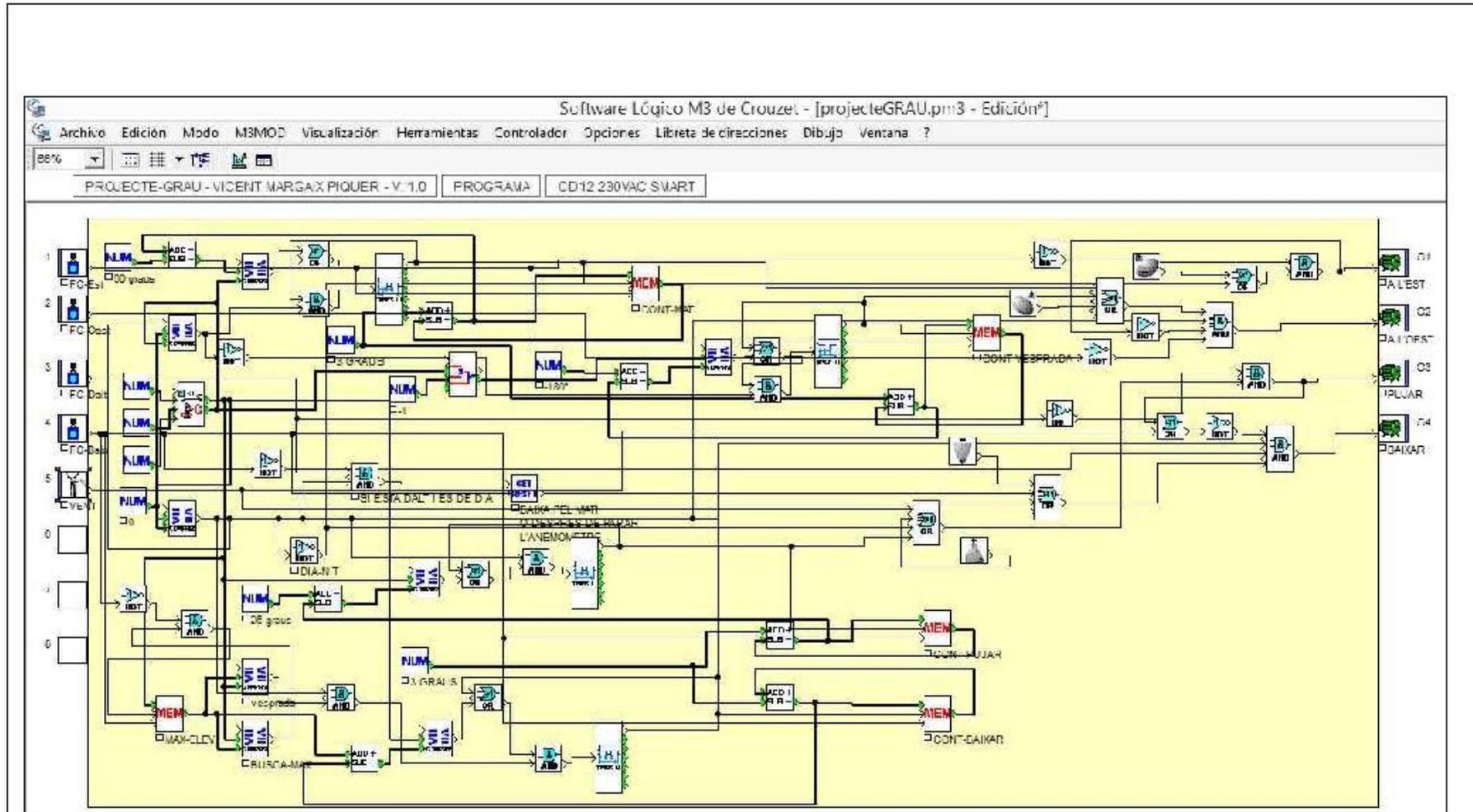
- ❖ PLANO 3: Esquema de Bloques de función del programa para seguimiento solar con autómeta Millenium3 de Crouzet



 Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño Ingeniero Técnico Industrial Vicente Margabá Piquer	Proyecto:	PROYECTO DE INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 13,5 KW PARA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO POR ELECTROLISIS	
	Titular:	Gasolinera xxxxxxxxxxxxxxxxxxx	
	Situación:	xx	
Escala H:	DENOMINACIÓN		Plano nº:
Escala S/E:	ESQUEMA ELECTRICO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO, INVERSOR, Y SUMINISTRO DE ALTERNA AL ELECTROLIZADOR Y AL COMPRESOR		1
Escala V:	S/E		Sep-2015



 Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño Ingeniero Técnico Industrial Vicente Margalef Piquer	Proyecto:	PROYECTO DE INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 13,5 KW PARA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO POR ELECTROLISIS	
	Título:	Gasolinera xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	
	Situación:	xx	
	Escala H:	DENOMINACIÓN	Plano nº:
	S/E	ESQUEMA ELECTRICO MULTIFILAR DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR A DOS EJES	2
	Escala V:		Sep-2015
	S/E		



 Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño Ingeniero Técnico Industrial Vicente Margaix Piquer	Proyecto:	PROYECTO DE INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 13,5 KW PARA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO POR ELECTROLISIS	
	Título:	Gasolinera xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	
	Situación:	xx	
	Escala H:	DENOMINACIÓN	Plano nº:
	S/E	ESQUEMA DE BLOQUES DE FUNCIÓN DEL PROGRAMA PARA SEGUIMIENTO SOLAR CON AUTÓMATA MILLENIUMS DE CROUZET	3
	S/E		Sep-2015

4 ECONOMIA DEL HIDROGENO

4.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

En este estudio económico no se va a considerar, y por lo tanto quedan excluidos, los costes del hidrolizador y del grupo de presión y almacenamiento.

En el caso del hidrolizador, por su alto precio actual debido a la poca demanda del mercado y por la gran variabilidad de precios entre los mercados asiáticos y los mercados euro-americanos. Sólo una gran demanda pondría precios asequibles en el mercado, y estos serían muy inferiores a los que en la actualidad aparecen publicados.

Por ejemplo, el modelo LP120 de HIDRÓGENA, capaz de generar 1,2 Nm³/h de H₂ con una pureza del 99,95% y 0,6 Nm³ de O₂, cuesta según indican en su web, 72.000,--€.



Mientras que el modelo GREEN H2 M3.6 de Suzhou Green Hydrogen Energy Co., Ltd., capaz de producir 2,4 Nm³/h de H₂ con una pureza del 99,95% y 1,2 Nm³ de O₂, cuesta 30.000,--US\$



Un informe de diciembre de 2008 del NREL (National Renewable Energy Laboratory) del U.S. Department of Energy se observa como variaban los costes de producción de hidrógeno con el tamaño de la instalación de electrolisis. Fijaba los costes de la energía eléctrica en 3,46\$ el kg de hidrógeno producido, fuera cual fuera el tamaño y variaban a la baja los costes de operación y de capital al ir aumentando el tamaño. En este informe se destacaba la poca importancia que tenía el aumento de eficiencia en la conversión respecto de la significativa reducción de costes al aumentar el tamaño, abriendo una ventana de costes entre 4,59 y 15,33 \$/kg de H₂ producido. Desde entonces los costes han seguido evolucionando a la baja.

En el caso del sistema de compresión y almacenado del H₂ a presión por desconocimiento del mercado, y porque los costes de los depósitos no deben ser muy distintos de los tanques de hidrocarburos enterrados en el suelo de la gasolinera.

Además, para hacer realmente rentable el proceso debería aprovecharse también el O₂ puro obtenido en el mismo proceso (hay que recordar que se obtiene un litro de oxígeno por cada dos litros de hidrógeno y que la electrolisis del agua es el mejor método, no sólo para obtener hidrógeno sino también el oxígeno de altísima pureza, llegando el 99,999% de pureza cuando el usuario así lo requiera). El hidrógeno procedente de la descomposición electrolítica del agua, se ha venido utilizando, para los programas espaciales por ser el único que daba la máxima garantía de pureza.

El mercado de oxígeno puro es muy importante, basta pensar en la cantidad que se consume en hospitales, centros sanitarios y pacientes con enfermedades respiratorias que llevan su botella de oxígeno todo el día. Y no sólo oxígeno sanitario sino también el industrial, como por ejemplo corte y soldadura. Este deberá tenerse en cuenta para al final obtener los costes reales a aplicar a la automoción.

Además, si el cambio de modelo energético no supone un beneficio inmediato para las empresas petrolíferas, puesto que se sienten muy a gusto con el actual modelo energético, deberá haber un cambio legislativo, con o sin ayudas estatales, que motive este cambio.

Por ejemplo...

¿Por qué no dedicar el dinero que se paga por la compra de derechos de emisiones de CO₂ a las ayudas a compra de los equipos?

Sabemos que la tonelada de CO₂ emitida de más, respecto de los compromisos de reducción que ha asumido este país y que seguirá asumiendo, se ha llegado a pagar a 9 €. En julio de este mismo año 2015 el gobierno ha ratificado la firma del Protocolo de Kioto.

También sabemos que este precio podría subir enormemente si tiene el éxito que parece que va a tener la próxima cumbre sobre el cambio climático que se celebrará en París. En ella, parece ser que se va a adherir EEUU quien hasta ahora no lo había hecho. Posiblemente también China, tras los desastres medioambientales que están surgiendo en sus grandes ciudades. Este hecho, provocará un aumento de la "demanda" de derechos de emisiones de CO₂ a los países excedentarios haciendo que el precio de la Tm suba a niveles nunca vistos hasta el momento, lo que nos puede llevar a pagar ingentes cantidades de recursos económicos por no cumplir con lo firmado y que bien se podrían invertir en el nuevo modelo energético. Hay estimaciones que sitúan el precio de la tonelada de CO₂ alrededor de los 19\$ en cuanto EEUU firme el tratado.

Un dato interesante: algunos países, como Colombia, han firmado el tratado por el simple hecho de poder acceder al negocio del CO₂. Ellos estiman que con el negocio de las emisiones pueden llegar a generar 435 millones de dólares anuales en divisas (cálculos basados al precio de 10\$ por Tm), y su negocio estaría, tanto en absorber el dióxido de carbono reforestando, como vendiendo sus propios derechos a países como España.

O ¿por qué no gravar a los hidrocarburos con un impuesto equivalente a los costes que supone contaminar?

Además, no depender energéticamente de combustibles fósiles, no sólo mejoraría nuestra balanza export-import sino que además se incrementaría de forma sustancial la industria nacional basada en esta nueva tecnología. La industria basada en las energías renovables se relanzaría muy por encima de lo que lo estuvo en su momento, antes de la crisis actual, generando miles de puestos de trabajo y como consecuencia de ello... incremento recaudador. Otro motivo para que sea el Estado quien promocióne esta nueva tecnología.

4.2 COSTES

4.2.1 COSTE DEL KWh PRODUCIDO

Vamos a suponer que la inversión en fotovoltaica para los primeros 10 años es lo presupuestado.

Sabemos que los módulos fotovoltaicos tienen una vida superior a los 40 años y que las pérdidas productivas se estabilizan antes de los 20 años, manteniéndose un rendimiento casi invariable más allá de los 25 años.

Consideraremos que cada 10 años hay que reinvertir en la instalación un 20%, sobre todo por el cambio de inversor, que en general suele ser el equipo menos duradero (invertiremos un 10% en el inversor y otro 10% en otros componentes como motores y aparataje eléctrica).

4.2.1.1 ESTUDIO A 20 AÑOS

La producción energética supondremos que irá menguando desde 30,4 MWh del primer año a 25,54 MWh del 20º año, eso suponiendo una degradación del 0,8% anual. Hay fabricantes que aseguran que sus placas no pierden más del 0,3% anual.

Producción energética del equipo en 20 años.....	560.000 kWh
Costes del Generador fotovoltaico en 20 años.....	26.249,72 €

$$\text{Coste del kWh} = \frac{26249.72\text{€}}{560000\text{kWh}} = 0.0469 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

4.2.1.2 ESTUDIO A 10 AÑOS

Ahora supongamos que la inversión se quiere recuperar en los 10 primeros años, aunque tendríamos electricidad prácticamente gratis en los siguientes 30 años. Así produciríamos 30,4 MWh el primer año y 27.97 MWh el décimo.

Producción energética del equipo en 10 años.....	291.840 kWh
Costes del Generador fotovoltaico en 20 años.....	21.874,77 €

$$\text{Coste del kWh} = \frac{21874.77\text{€}}{291840\text{kWh}} = 0.0749 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

4.2.2 COSTE DEL Kg DE H₂ PRODUCIDO Y ALMACENADO

Según cálculos anteriores los consumos energéticos son:

Consumo eléctrico en la electrolisis del agua	55,00 kWh/kgH ₂
Consumo eléctrico en la compresión del H ₂ a 700 atm	6,70 kWh/kgH ₂
TOTAL CONSUMO	61,70 kWh/ kgH ₂

El coste por producir el hidrógeno mediante electrolisis del agua y comprimirlo será:

$$20 \text{ años} \quad \text{Coste del } kgH_2 = 0,0469 \frac{\text{€}}{kWh} * 61,7 \frac{kWh}{kgH_2} = 2,894 \frac{\text{€}}{kgH_2}$$

$$10 \text{ años} \quad \text{Coste del } kgH_2 = 0,0749 \frac{\text{€}}{kWh} * 61,7 \frac{kWh}{kgH_2} = 4,621 \frac{\text{€}}{kgH_2}$$

4.2.3 COSTE POR CADA 100 Km RECORRIDOS CON H₂

Haremos el estudio bajo la hipótesis de 10 años.

Vimos que un vehículo de gama media con un motor eléctrico de 115 CV, alimentado por una pila de combustible PEM consumía una media de 0,677 kg por cada 100 km recorridos.

Supongamos que para recuperar la inversión, la gasolinera aplica unos márgenes del 25%, lo que incluiría los costes financieros y los márgenes de operación y beneficios. Eso supondría que el precio al cliente sería de...

$$\text{Precio del } kgH_2 = 4,621 \frac{\text{€}}{kgH_2} * 1,25 = 5,776 \frac{\text{€}}{kgH_2}$$

$$\text{Precio cada } 100 \text{ km} = 0,677 \frac{kgH_2}{100km} * 5,776 \frac{\text{€}}{kgH_2} = 3,910 \frac{\text{€}}{100km}$$

Ahora los comparamos con los costes para vehículos a gasóleo y gasolina...

Consumo vehículo de 85 kW (115 CV)						
	consumo (l/100km)	densidad (g/l)	consumo kg/100 km	PRECIO €/litro	PRECIO €/kg	coste €/100km
gasoil	4,5	832	3,744	1,140	1,370	5,130
gasolina	6	750	4,500	1,250	1,667	7,500
HC	5,175	795,1	4,084	1,190	1,497	6,114
hidrógeno	7582	0,0893	0,677	0,000516	5,776	3,910

Tenemos un margen de 2,2€ por cada 100 km recorridos con un vehículo eléctrico (3,91€ por kg de H₂ vendido), respecto del coste del mismo recorrido con vehículos alimentados con hidrocarburos (gasolina y gasoil combinados).

Habría que ver si el cambio de modelo, lo soportan exclusivamente la industria o también el usuario final, pero suponiendo un sobrecoste nulo para el consumidor, y pagando lo mismo por cada 100 km recorridos, es decir, que en vez de pagar a 3,91 €/100 km recorridos lo hiciera al precio que paga actualmente por la gasolina o gasóleo, a 6,114 €/100km, quedaría el margen de 2,20€ citado anteriormente.

Con este margen de 2,2€ por cada 100 km recorridos, el margen para el precio por kg sería...

$$2,2 \frac{\text{€}}{100km} * \frac{100km}{0,677kgH_2} = 3,25 \frac{\text{€}}{kgH_2}$$

El coste del hidrolizador Chino se amortizaría, sólo con el margen que dejaría el hidrógeno, tras producir...

$$\frac{30000\text{€}}{3.25 \frac{\text{€}}{\text{kgH}_2}} = 9231 \text{ kgH}_2$$

Y como, el punto de partida de cálculo era la capacidad de producir 490 kg de H₂ al año (tabla 11), necesitaríamos 20 años para amortizar ese electrolizador, sólo con el margen en la venta de H₂ como combustible de automóviles de turismo.

Si el análisis de costes se realiza contando con una amortización a 20 años, es decir que el coste de producción sería 2,894 en lugar de 4,621€ por kg de H₂ y aplicando márgenes, el coste por cada 100 km recorridos sería de 2,449€ que respecto del precio de venta de 6,114€ por cada 100 km recorridos, dejaría un margen para la amortización del electrolizador de 3,665€, equivalente a 5,414€ de margen por kg de hidrógeno vendido. Así el electrolizador chino se amortizaría tras producir 5541 kg de H₂, que a 490 kg/año, se amortizaría en 11 años.

4.3 LOGÍSTICA DE LA PRIMERA FASE

En la primera fase el hidrógeno no es la principal combustible en las gasolineras sino que convive con los hidrocarburos de forma casi testimonial para ir, poco a poco, desplazándolos (2ª Fase) hasta convertirse en la fuente de energía principal (3ª Fase) en lo que respecta al transporte por carretera tanto de personas como de mercancías.

Se deberá adaptar el proyecto a las necesidades reales de cada gasolinera partiendo de los datos de una gasolinera media y según sus consumos reales de gasóleo y de gasolinas.

Esta primera fase debería estar, al menos, gestionada por un ente público, bien directamente o bien a través de empresas públicas creadas a tal fin. Motivos para ello hay muchos como por ejemplo:

- La industria de los hidrocarburos será reticente, está muy a gusto con el statu quo. La materia prima de este modelo energético es el agua y no requiere mucha transformación.
- La inversión, aunque no es elevada, no se recuperará tan rápidamente como habitualmente ocurre en el sector energético. Como estrategia energética de un país e incluso de un continente, la inversión pública deberá aparecer directa o indirectamente, como ayudas, como incentivos, gravando los combustibles fósiles o como pueda ocurrírsele a nuestros gestores públicos.
- El cálculo se ha basado en un seguidor solar a dos ejes de 90 m² equivalente a más de 150 m² de superficie para una instalación fija. Si es una gasolinera con bajos consumos anuales o tiene una buena cubierta, es probable que pudiera generar la suficiente energía sin recurrir a los sobre costes del seguidor a dos ejes. En ese caso, se podría reducir los costes en unos 3.000,00 €. En cualquier caso, y aunque se instalara de inicio el seguidor solar, se podría ampliar, cuando aumentara la demanda, con módulos fijos sobre las cubiertas e incluso con mini eólica, donde las condiciones climatológicas así lo aconsejen.
- Una vez dimensionados, generador fotovoltaico y generador de H₂, al ir aumentando el consumo de hidrógeno por el aumento de cuota de mercado del vehículo eléctrico, se deberán sustituir electrolizadores de menor capacidad por otros de mayor capacidad, o bien añadiendo en paralelo. Se generará un circuito de equipos de electrolisis para ir actualizando la capacidad productiva a la demanda en cada momento y según la capacidad de suministro de cada estación de servicio.
- Una empresa pública debería gestionar la compra preferente de oxígeno procedente de la electrolisis del agua para uso sanitario. Si hubiera excedentes se venderían a la industria privada.
- El generador fotovoltaico, seguirá teniendo una importancia vital aunque el hidrógeno llegue canalizado a una gasolinera, pues deberá alimentar al equipo de presión que cada vez irá necesitando más y más energía.

Al final de esta primera fase deberá empezarse a producir hidrógeno en grandes centrales, eólicas o fotovoltaicas, que inyectarán su producción a la red de tuberías de gas natural o nuevas, al tiempo que las gasolineras más apartadas, donde no llegue la canalización, seguirán produciéndose su propio hidrógeno, aumentándola con electrolizadores que vayan retirándose de las gasolineras a las que si les llegue el gas canalizado.

4.4 FUTURO DE LA ENERGÍA BASADA EN EL H₂

La tecnología actual ya permite la construcción de pilas de combustible para centrales eléctricas capaces de generar electricidad del orden de MW. Esto nos debe llevar a pensar que el problema del almacenamiento de energía eléctrica está resuelto y se puede sustituir el actual modelo, en el que los picos de demanda se resuelven con hidráulica y centrales térmicas, por otro en el que esos picos se cubran con hidráulica e hidrógeno. Estas centrales, además, pueden instalarse a nivel local, reduciendo las pérdidas en el transporte de electricidad a largas distancias. Se podría llegar al extremo de instalar pilas de combustible a nivel comunitario, pudiendo ser de alta temperatura (AFC) para así aprovechar el calor desprendido en calentar los edificios, sustituyendo a las calderas actuales.

Con la energía eólica y fotovoltaica sobrantes, por ejemplo, durante las horas valle de demanda, que coincidan con condiciones climáticas favorables para la eólica, para la fotovoltaica, o para ambas, se puede almacenar esa energía eléctrica como energía potencial gravitatoria (Centrales hidroeléctricas de Bombeo) o como energía potencial química (Centrales de Pilas de Combustible).

Por otra parte, una vez cubierta la demanda de energía eléctrica, se puede seguir aumentando la potencia instalada, tanto de eólica como de fotovoltaica, para sustituir, con el hidrógeno, la demanda de gases, como el gas natural, empleados en la generación de Energía Calorífica (combustión directa para generar calor).

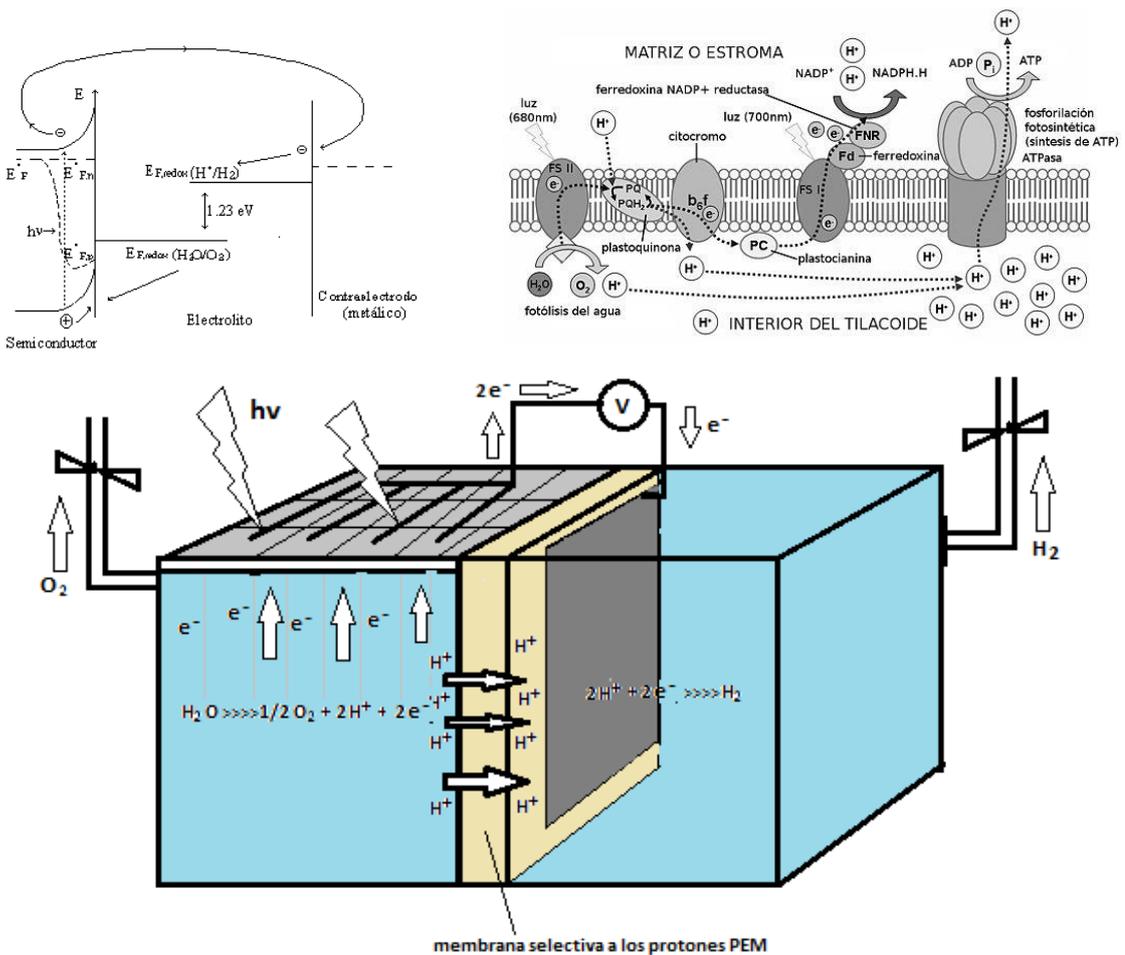
Con esta tecnología se están diseñando pilas para que un ordenador portátil dure días sin conectar a la red, frente a las pocas horas actuales. Teléfonos móviles que se pueden recargar como se recarga un mechero. Las posibilidades son casi infinitas y se irán explorando y expandiendo con la generalización de este combustible.

El cambio de modelo, favorecerá una rápida expansión de la tecnología que mejorará los rendimientos en la transformación reversible “electricidad-hidrógeno”, aproximándose a los límites teóricos. En ese momento se podría sustituir el gas natural canalizado por el hidrógeno canalizado.

Un futuro no demasiado lejano, deberá traer consigo la *Fotólisis directa del agua*, sin aplicar un sobrepotencial (es decir sin aporte externo de electrones). Aunque se lleva estudiando desde hace muchos años, y las plantas (*fase luminosa de la fotosíntesis*) lo llevan haciendo desde que existe la vida, sigue habiendo problemas en la selección del fotoelectrodo (lo que equivaldría al Fotosistema II de las membranas del Tilacoide de los cloroplastos en la fotosíntesis de las plantas). En este fotosistema II se produce la fotólisis del agua activados por luz solar de alrededor de 680nm de longitud de onda, equivalente a 1,82 eV. La luz solar no escinde la molécula de agua directamente, sino que fotones de longitudes de onda entre 660 y 680 nm excitan los electrones de unas moléculas “pigmentos” que son en realidad complejos moleculares, principalmente de clorofilas y xantofilas que forman a modo de antenas. Los electrones excitados de estas antenas entran en resonancia con el centro de reacción donde una molécula diana (la clorofila a_{ii}) libera 2 e⁻ que los captará otra molécula, una plastoquinona (el aceptor primario “Q”) iniciándose la cadena de transporte de electrones. Al tiempo, el hueco creado se debe llenar con 2 electrones del dador “Z” (no se conoce

bien esta molécula) quien se encargará de escindir la molécula de agua robando los 2 e⁻ de los 2 átomos de hidrógeno y liberando oxígeno molecular

La similitud con el efecto fotoeléctrico que utilizamos para generar energía eléctrica por medio de placas solares es evidente. La diferencia estriba en que para el caso de las celdas solares se trata de un circuito cerrado en que los e⁻ excitados nos generarán un trabajo eléctrico antes de volver por el polo opuesto a la celda solar llenando así el hueco generado. Por el contrario la fotólisis sería un circuito abierto en el que los electrones desprendidos por la fotólisis del agua no vuelven al agua sino que tras recorrer un circuito deben encontrarse con los protones liberados para formar hidrógeno molecular. Los huecos generados en la celda fotovoltaica se cubren con los e⁻ del agua.



Esta tecnología se está viendo frenada al no encontrar los materiales adecuados para crear el semiconductor del fotoelectrodo que tenga una banda prohibida igual o superior a esos 1,8 eV (lo que no es difícil) y que además la posición relativa de la banda de conducción esté por encima del par redox H⁺/H₂ y la banda de valencia por debajo del par redox OH⁻/O₂ (lo que sí está resultando difícil de conseguir).

En mi opinión, creo que no tardará mucho en producirse, por lo menos en cuanto el H₂, como vector energético, se afiance como nuevo modelo energético.

5 REFERENCIAS

www.idae.es (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)

www.ariema.com

www.aeh2.org (Asociación Española del hidrógeno)

www.ptehpc.org (Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno y de las Pilas de Combustible)

www.abengoa.es (Abengoa hidrógeno)

www.hidrogenoaragon.org (Fundación Hidrógeno Aragón)

www.cnethpc.es (Centro Nacional del Hidrógeno)

www.ine.es (Instituto Nacional de Estadística)

www.cnmc.es (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia)

www.dgt.es (Dirección General de Tráfico)

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> (Photovoltaic Geographical Information System)

www.aemet.es (Agencia Estatal de Meteorología)

<http://automobiles.honda.com/fcx-clarity/>

www.vw.com/models/e-golf

www.bmw.es

www.nrel.gov (National Renewable Energy Laboratory – U.S. Department of Energy)