



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
Especialidad Electricidad

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

“Evaluación de las necesidades de H₂ en la 1ª Fase de la introducción del vehículo a pila de combustible y Proyecto de Central Solar Fotovoltaica en gasolineras de la provincia de Valencia”

Realizado por:
Vicente Margaix Piquer

Dirigido por:
D. Francisco Rodríguez Benito

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

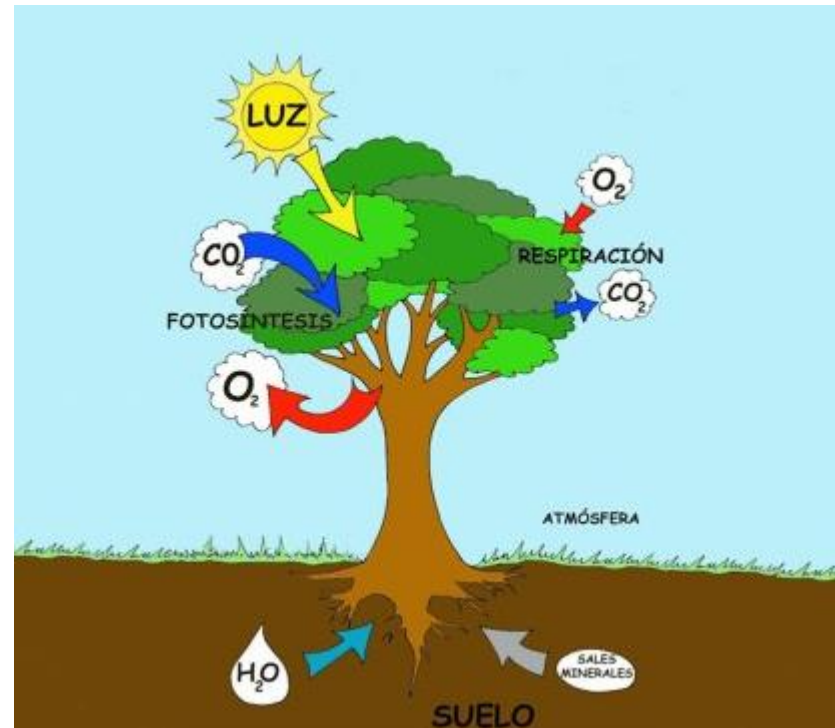
HIDROCARBUROS:

- SE AGOTAN
- CONTAMINAN
- ESPAÑA NO TIENE RESERVAS



PLANTAS Y ALGAS:

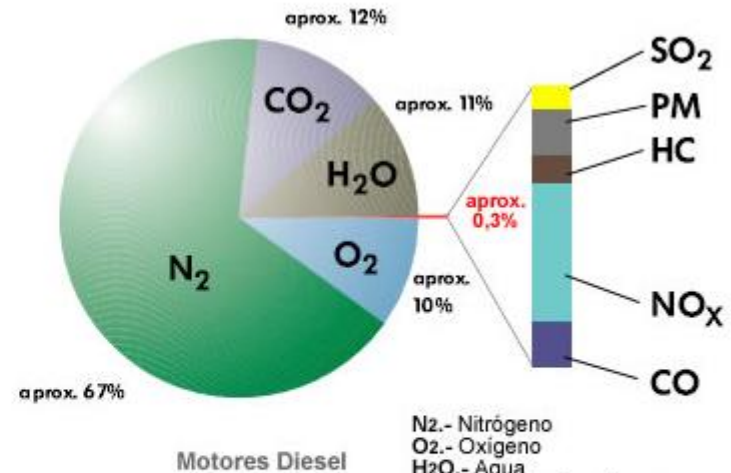
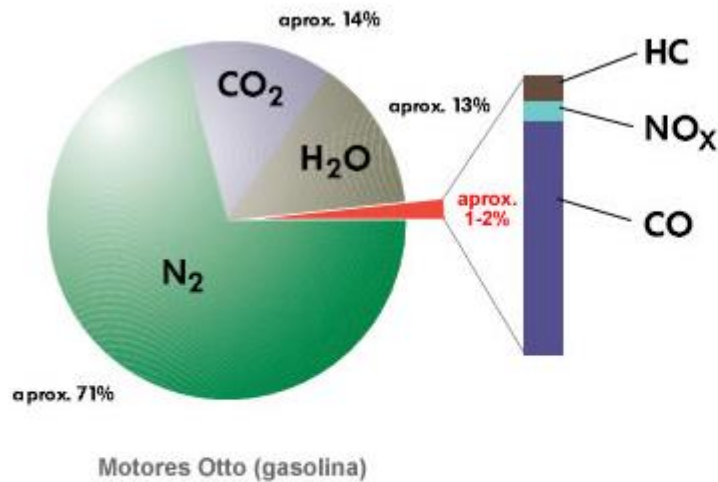
- CONSUMEN CO₂ DEL AIRE
- GENERAN O₂
- GENERAN ENERGÍA QUÍMICA



TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

GASES DE ESCAPE GASOLINA Y GASOIL



N₂.- Nitrógeno
O₂.- Oxígeno
H₂O.- Agua
CO₂.- Dióxido de carbono
CO.- Monóxido de carbono
NO_x.- Óxidos nítricos
SO₂.- Dióxido de azufre
HC.- Hidrocarburos
PM.- Partículas de hollín diesel


Emisiones de CO₂ ≈ 2,6 kg/kg combustible

Composición de los gases de escape

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

CONSUMO TOTAL GASOIL Y GASOLINAS EN Tm

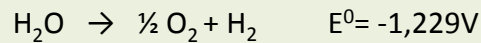
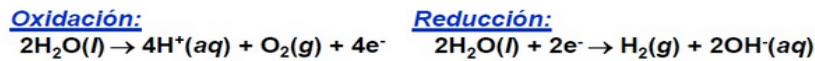
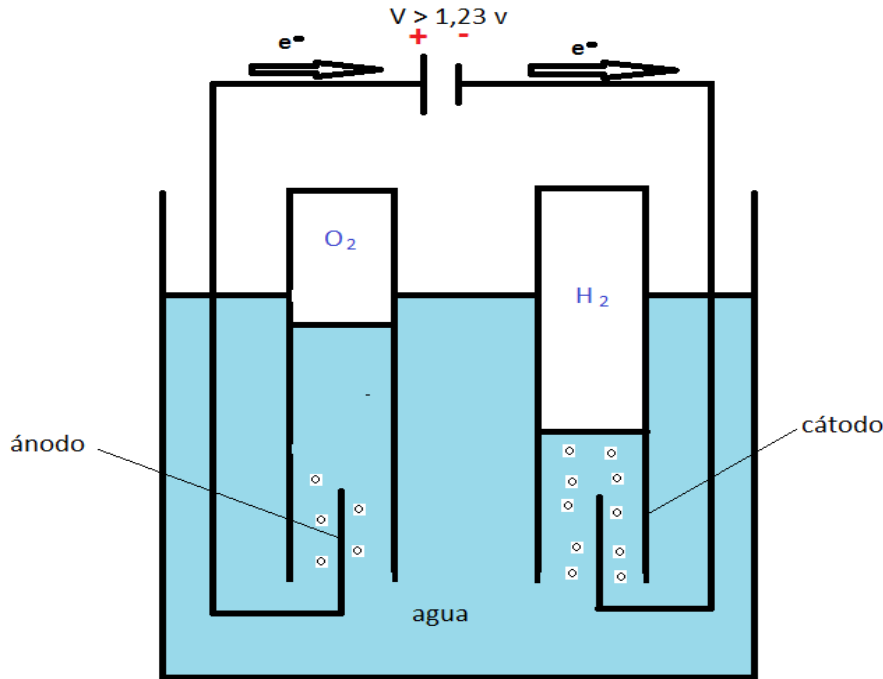
INICIO		CONSUMOS	BALANZA COMER.	COTIZACIONES	PRECIO NAC.	PRECIO PROV.	CONSUMOS MENSUALES				
NACIONAL		IMPORTACION	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL						
PROVINCIAL		EXPORTACION	SEMANTAL	SEMANTAL	SEMANTAL						
		PRODUCCION	DIARIO								
AÑO	MES	PROVINCIA	BIO DIESEL	GASÓLEO A	GASÓLEO B	GASÓLEO C	OTROS GASÓLEOS	GASOLINA AUTO. S/PB 95 I.O.	GASOLINA AUTO. S/PB 98 I.O.	OTRAS GASOLINAS	TOTAL
2012	septiembre	VALENCIA	718	81.842	8.957	4.600	1.588	17.207	705	18	146.809
2012	octubre	VALENCIA	565	89.659	9.870	5.836	2.320	18.193	528	13	162.793
2012	noviembre	VALENCIA	518	90.127	11.015	7.467	2.928	17.075	556	13	163.157
2012	diciembre	VALENCIA	487	89.867	12.187	4.877	3.162	18.613	747	14	164.375
2013	enero	VALENCIA	11	88.046	13.276	5.598	2.407	15.899	438	7	170.362
2013	febrero	VALENCIA	4	84.545	11.878	5.056	1.463	15.355	473	13	160.429
2013	marzo	VALENCIA	0	91.126	11.262	5.487	2.133	17.393	585	7	177.944
2013	abril	VALENCIA	10	91.310	10.597	4.875	2.295	17.355	577	16	177.880
2013	mayo	VALENCIA	2	95.049	9.939	7.350	3.093	17.744	612	19	181.515
2013	junio	VALENCIA	10	90.532	9.330	5.330	2.771	17.713	637	14	171.179
2013	julio	VALENCIA	189	101.983	9.624	7.056	2.740	21.224	795	20	188.935
2013	agosto	VALENCIA	136	90.420	7.995	9.940	2.933	20.125	842	17	172.957
TONELADAS.....				1.084.505				213.897	7.495		1.305.897

VEHÍCULOS DE GASOLEO A Y GASOLINA EMITEN ANUALMENTE EN VALENCIA (3.395.332,2 Tm) DE CO₂ A LA ATMÓSFERA

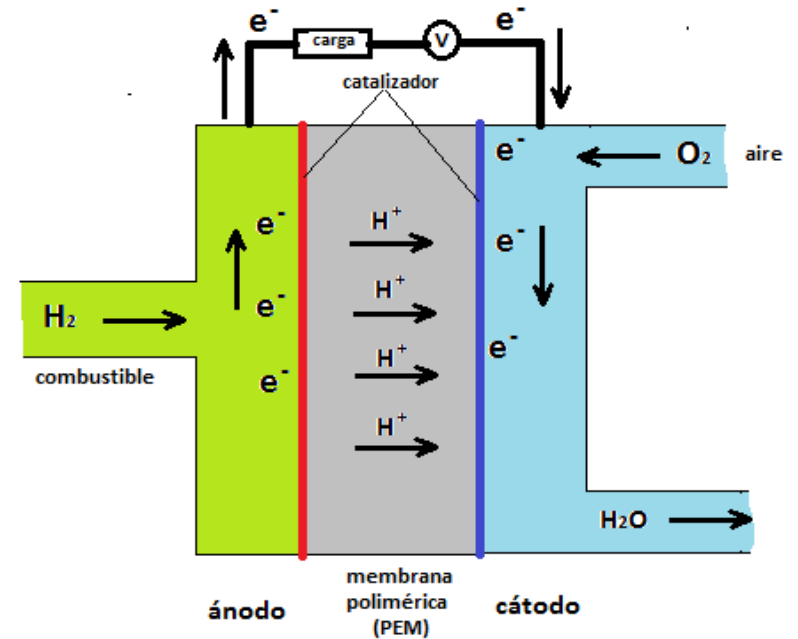
TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

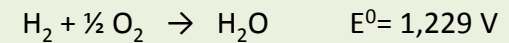
ELECTROLISIS DEL AGUA



PILA PEMFC



Esquema de una pila PEM de H₂



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

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

CURVA DE POLARIZACIÓN DE LA PILA PEMFC

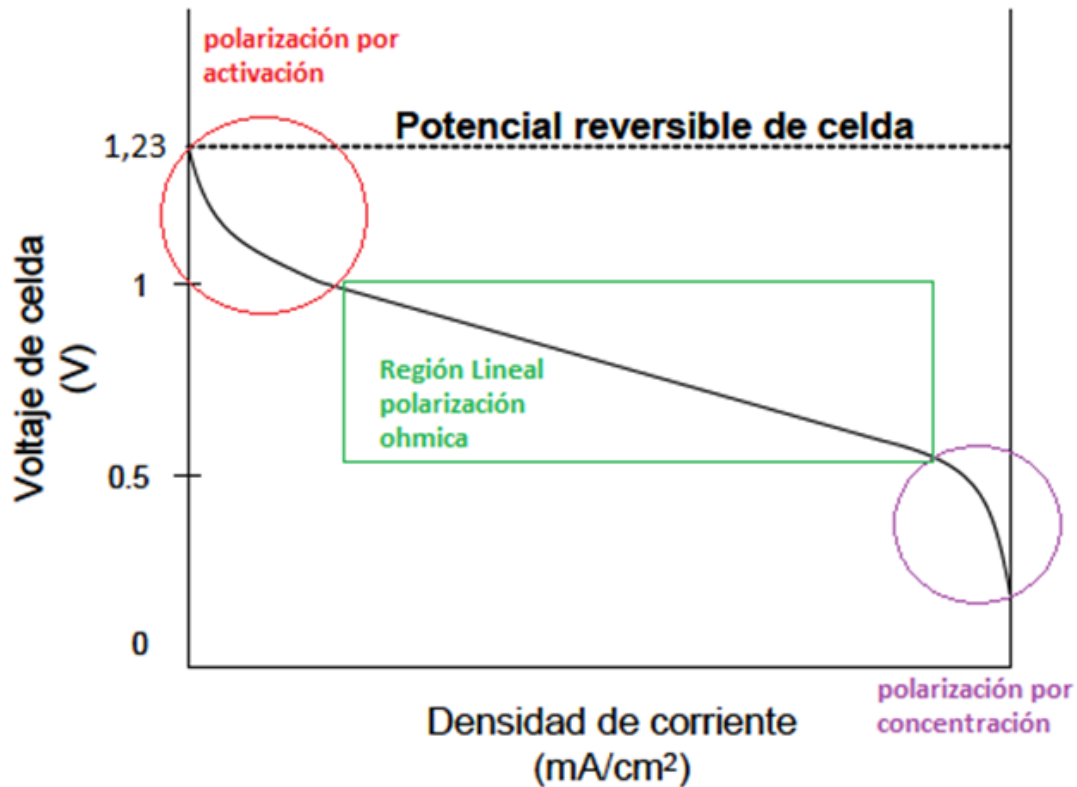
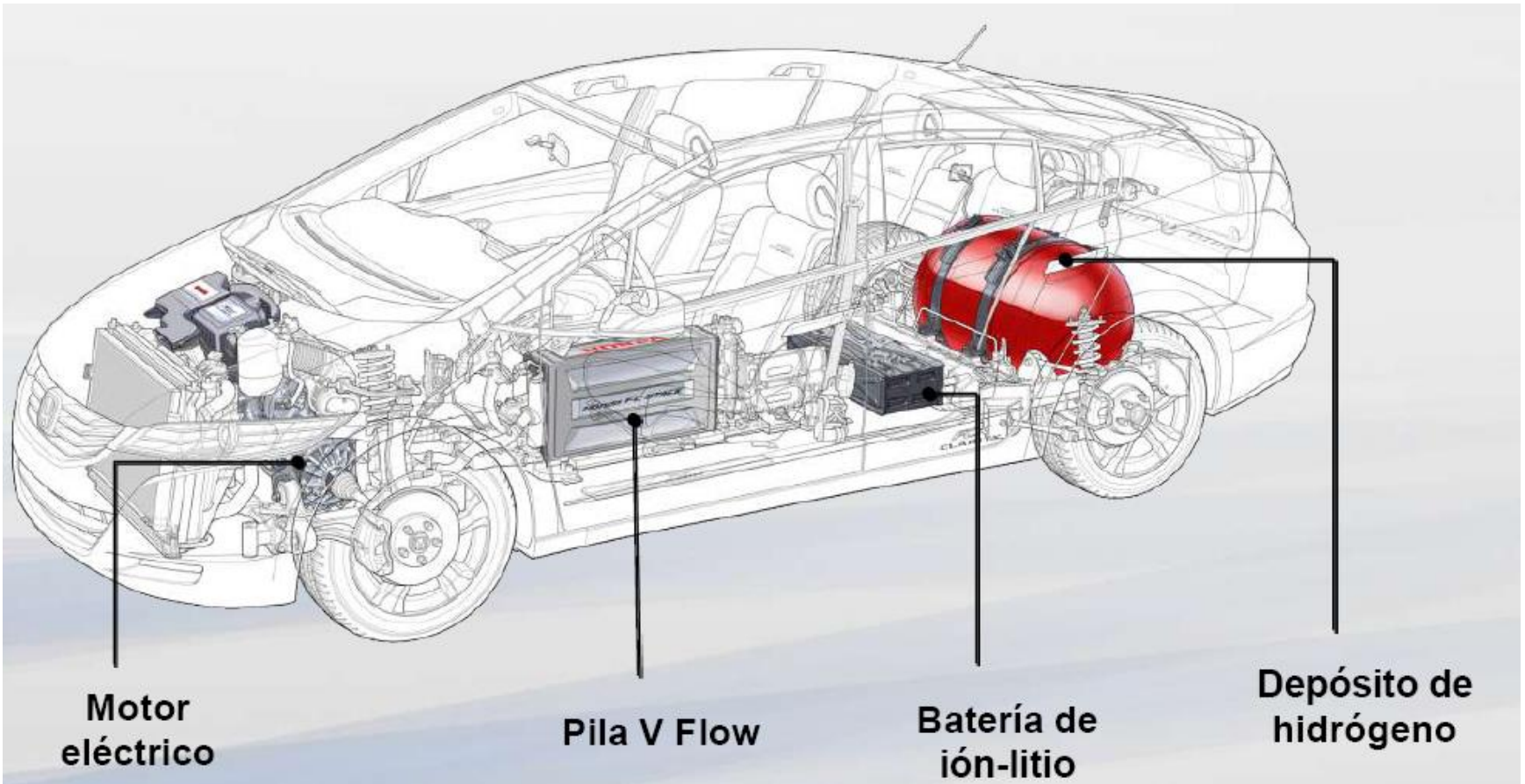


Figura 4: Voltaje de celda según la demanda energética

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

AUTOMÓVIL ELÉCTRICO A PILA DE COMBUSTIBLE



TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H_2 ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

MOTORES ELÉCTRICOS



PILAS DE COMBUSTIBLE



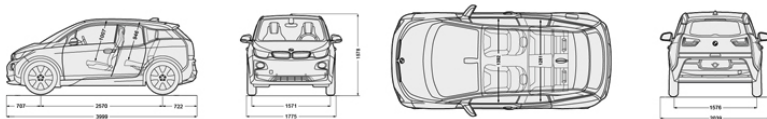
TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

DATOS TÉCNICOS

BMW i3 ▼



> Configura tu BMW



Consumo

Consumo de energía edrive en kWh/100 km	- [12,9]
Emissiones de CO ₂ en g/km	- [0,0]

eDrive

Motor eléctrico. Potencia máxima en KW (CV)	125 (-)
Motor eléctrico. Par máximo en Nm	250

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

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 Lítio
 Tiempo de Repostaje: 3 – 4 minutos

Motores



Rendimiento



Eficiencia



100% Golf.
100% eléctrico.

El motor 100% eléctrico del e-Golf se caracteriza por su máximo rendimiento y eficiencia. Con una potencia de 115 CV / 85 kW y una autonomía de 190 km, permite disfrutar de todas las virtudes de un Golf y los beneficios de un vehículo eléctrico.

Potencia
115 CV / 85 kW

Autonomía
Hasta 190 km



TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

ENERGÍA CONSUMIDA POR EL e-GOLF

$$12,7 \frac{kWh}{100km} * 1000 \frac{W}{kW} * 3600 \frac{s}{h} = 45.72 \times 10^6 (W * s) = 45.72 \times 10^6 (Jul/100km)$$

ENERGÍA PRODUCIDA POR LA PILA

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

$$1 \text{ Julio} = 1 \text{ culombio} * 1 \text{ voltio} \quad W_{el} = 135079 \frac{J}{mol H_2}$$

HIDRÓGENO CONSUMIDO POR EL e-GOLF

$$consumo = \frac{45.72 \times 10^6 \frac{J}{100 km}}{135079 \frac{J}{mol H_2}} = 338.47 \frac{mol H_2}{100km} * 2 \frac{gr H_2}{mol H_2} = 676.9 \frac{gr H_2}{100 km}$$

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

NECESIDADES DE H₂ DE UNA GASOLINERA MEDIA DE VALENCIA

Distribución de los turismos por combustible

PARQUE DE VEHICULOS TURISMO ESPAÑA					
	GASOLINA		GASOLEO		
AÑO	UNIDADES	%	UNIDADES	%	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
Vehiculos gasoleo/vehiculos gasolina=				1,2115	

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

NECESIDADES DE H₂ DE UNA GASOLINERA MEDIA DE VALENCIA

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

Relación **turismos** gasoil/gasolina = 55/45

Relación **consumos** gasoil/gasolina = 4,5/6

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

TOTAL EMISIONES CO₂ AÑO = 1.103.271 Tm

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

NECESIDADES DE H₂ DE UNA GASOLINERA MEDIA DE VALENCIA

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%

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

NECESIDADES DE H₂ DE UNA GASOLINERA MEDIA DE VALENCIA

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

SE CONSUME 6
VECES MENOS
HIDRÓGENO
QUE LA
COMBINACIÓN
DE GASOIL Y
GASOLINA

$$\text{Relación Consumo } \frac{HC}{H_2} = \frac{\text{consumo HC}}{\text{consumo H}_2} = \frac{4,084}{0,677} = 6,032$$



	TASA BAJA			TASA MEDIA			TASA ALTA		
	TURISMOS		H2	TURISMOS		H2	TURISMOS		H2
		cuota	(kg/año)		cuota	(kg/año)		cuota	(kg/año)
	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

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

CÁLCULO DEL ELECTROLIZADOR

ENERGÍA CONSUMIDA POR MOL DE H₂ ELECTROLIZADO

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

$$C * V = \text{Juls} = W * s$$

ENERGÍA ELECTRICA CONSUMIDA POR Kg DE H₂ ELECTROLIZADO

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

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

CÁLCULO DEL ELECTROLIZADOR

VOLUMEN DE 1 MOL DE HIDRÓGENO EN C.N.

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

ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA POR Nm³ DE H₂ ELECTROLIZADO

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

ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA POR Kg DE H₂ ELECTROLIZADO SEGÚN FABRICANTE

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

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

CÁLCULO DE LA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA (Según consumo anual)

	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

Producción media diaria (Ed) y mensual (Em) de electricidad en kWh por kW instalado, estimada a partir de los datos de insolación media diaria (Hd) y mensual (Hm) y sus respectivos totales anuales en la provincia de Valencia

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

CÁLCULO DE LA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA (según consumo anual)

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

Consumo hidrolizador
por kg de H₂ producido

	consumo anual(kg)		HC=	724121	producción horas equivalentes año=2280							
			H2=	120687	TASA BAJA			TASA MEDIA			TASA ALTA	
	TURISMOS H2	cuota	H2 (kg/año)	POT. INST. (kWpico)	TURISMOS H2	cuota	H2 (kg/año)	POT. INST. (kWpico)	TURISMOS H2	cuota	H2 (kg/año)	POT. INST. (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

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

CÁLCULO DE LA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA (según consumo anual)

Tamaño del hidrolizador en Nm³ de H₂ producido por hora solar

$$Potencia\ Hidrolizador = \frac{Producción\ anual}{horas\ de\ sol\ anuales} = \frac{490.216 \frac{kgH_2}{año} * 24.45 \frac{l}{mol} * \frac{1}{1000} \frac{Nm^3}{l} * 500 \frac{mol}{kg\ H_2}}{2280 \frac{h}{año}} = 2.628 \frac{Nm^3}{h}$$

	TASA BAJA				TASA MEDIA				TASA ALTA			
	TURISMOS H2	cuota	H2 (kg/año) gasolinera	H2 (Nm3/h)	TURISMOS H2	cuota	H2 (kg/año) gasolinera	H2 (Nm3/h)	TURISMOS H2	cuota	H2 (kg/año) gasolinera	H2 (Nm3/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

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

CÁLCULO DE LA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA (Según consumo anual)

Consumo compresor

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

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

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

Consumo por kg de H₂ comprimido

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

Consumo por m³ de H₂ comprimido

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

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

CÁLCULO DE LA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA (Según consumo anual)

POTENCIA DEL HIDROLIZADOR..... 11,83 kW

POTENCIA DEL COMPRESOR (0,548 kWh/m³ x 2,628 m³) 1,44 kW

POTENCIA NECESARIA 13,27kW

Potencia necesaria a partir del 5º año considerando una tasa de introducción del vehículo eléctrico del 1,5% con crecimientos anuales del 10%

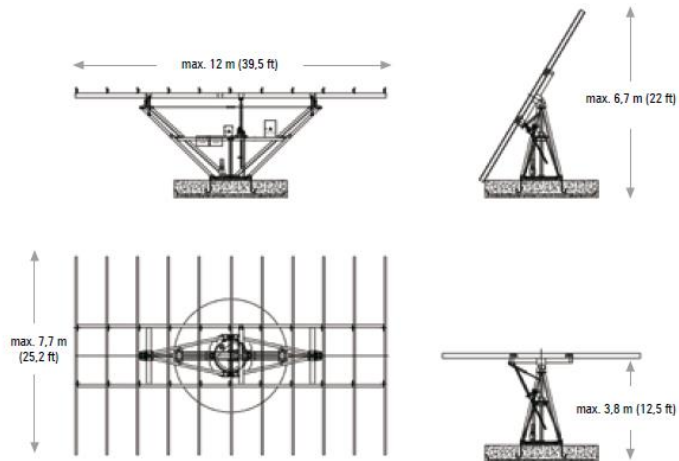
Por cuestiones prácticas se proyecta una central de 13,5 kWpico

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA DE 13,5 kW CON SEGUIMIENTO A 2 EJES

ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA



TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA DE 13,5 kW CON SEGUIMIENTO A 2 EJES

TM-P660230/250

TM-SERIES POLICRISTALINO



54 módulos
250 Wp (0/+5W)
30.1Vmp
8.3 A (Imp)

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 1

15.37%
eficiencia

25
años de garantía
de potencia 2

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

VALORES DE TEMPERATURA

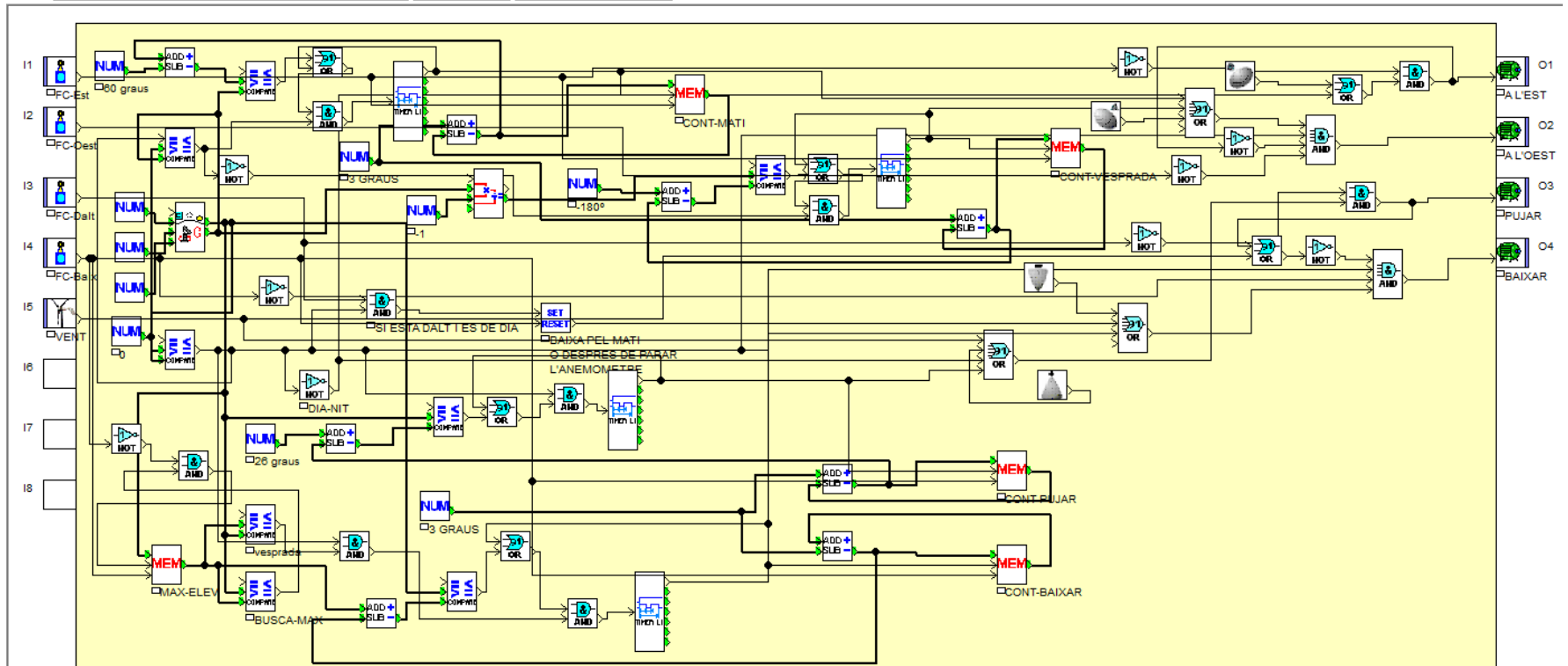
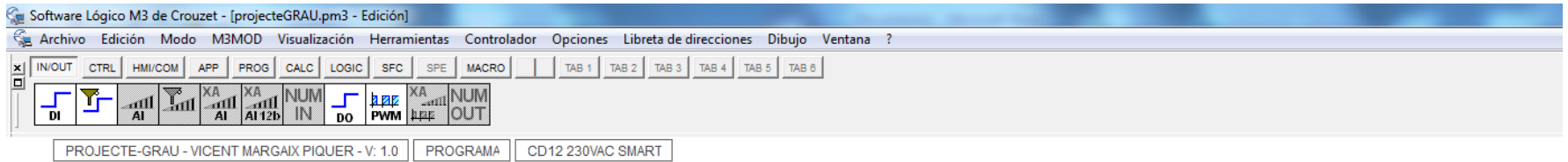
NOCT	45 ± 2°C
Coefficiente de temperatura (Pmax)	-0.45 %/°C
Coefficiente de temperatura (Voc)	-0.34 %/°C
Coefficiente de temperatura (Isc)	0.06 %/°C

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA DE 13,5 kW CON SEGUIMIENTO A 2 EJES

PROGRAMA PARA SEGUIMIENTO SOLAR A 2 EJES



TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA DE 13,5 kW CON SEGUIMIENTO A 2 EJES

INSOLACIÓN

	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	

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA DE 13,5 kW CON SEGUIMIENTO A 2 EJES

PRODUCCIÓN ELÉCTRICA

PVGIS	Horas de sol	Ta-m	Tc	L(Tc)	L(su)	L(DP)	L(ra-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

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)
TOTAL AÑO	2759											2223	30008
INE-2013	Horas de sol	Ta-m	Tc	L(Tc)	L(su)	L(DP)	L(ra-e)	L(es)	L(inv)	L(elec)	L(tot)	PROD (Heq)	PROD (kWh)
TOTAL AÑO	2789											2236	30192

PRODUCCIÓN ANUAL ESTIMADA 30,4MW

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA DE 13,5 kW CON SEGUIMIENTO A 2 EJES

PRESUPUESTO INSTALACIÓN

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

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

ECONOMIA DEL HIDRÓGENO: COSTES DEL kWh PRODUCIDO

Estudio a 20 años

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

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

Estudio a 10 años

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

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

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

ECONOMIA DEL HIDRÓGENO: COSTES DEL kWh PRODUCIDO Y COMPRIMIDO

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

$$20 \text{ años} \quad \text{Coste del } kgH_2 = 0,0469 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 61,7 \frac{\text{kWh}}{\text{kgH}_2} = 2,894 \frac{\text{€}}{\text{kgH}_2}$$

$$10 \text{ años} \quad \text{Coste del } kgH_2 = 0,0749 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 61,7 \frac{\text{kWh}}{\text{kgH}_2} = 4,621 \frac{\text{€}}{\text{kgH}_2}$$

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

ECONOMIA DEL HIDRÓGENO: COSTES CADA 100 km RECORRIDOS CON H₂

ESTUDIO A 10 AÑOS: margen del 25% a la venta

$$\text{Precio del kgH}_2 = 4,621 \frac{\text{€}}{\text{kgH}_2} * 1.25 = 5,776 \frac{\text{€}}{\text{kgH}_2}$$

$$\text{Precio cada 100 km} = 0,677 \frac{\text{kgH}_2}{100\text{km}} * 5,776 \frac{\text{€}}{\text{kgH}_2} = 3,910 \frac{\text{€}}{100\text{km}}$$

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

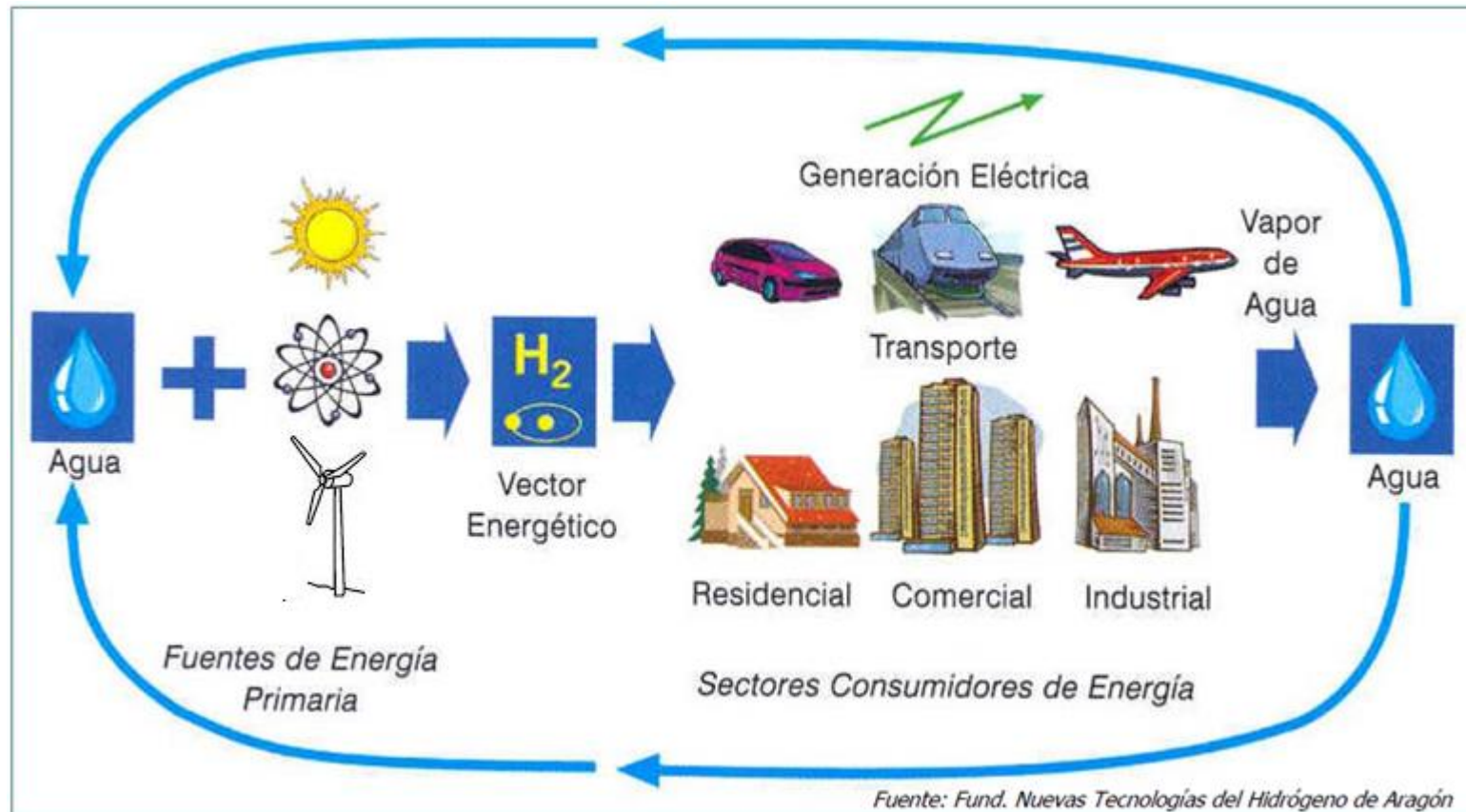
Con H₂ costaría 2,2€ menos, cada 100 km recorridos, que con un vehículo medio accionado por HC. Tenemos un margen de 3,25€ por kg de H₂ (2.2/0.677) para amortizar el electrolizador en 9231kg vendidos. Si se calcula una amortización a 20 años, bastaría con producir 5541 kg de hidrógeno

SIN CONTAR CON EL BENEFICIO DE LA VENTA DEL O₂

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

ECONOMÍA ENERGÉTICA BASADA EN EL H₂



TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

FUTURO DE LA ENERGÍA

Generación descentralizada



Imagen de la web de enerblog.org

Economía energética basada en el H₂

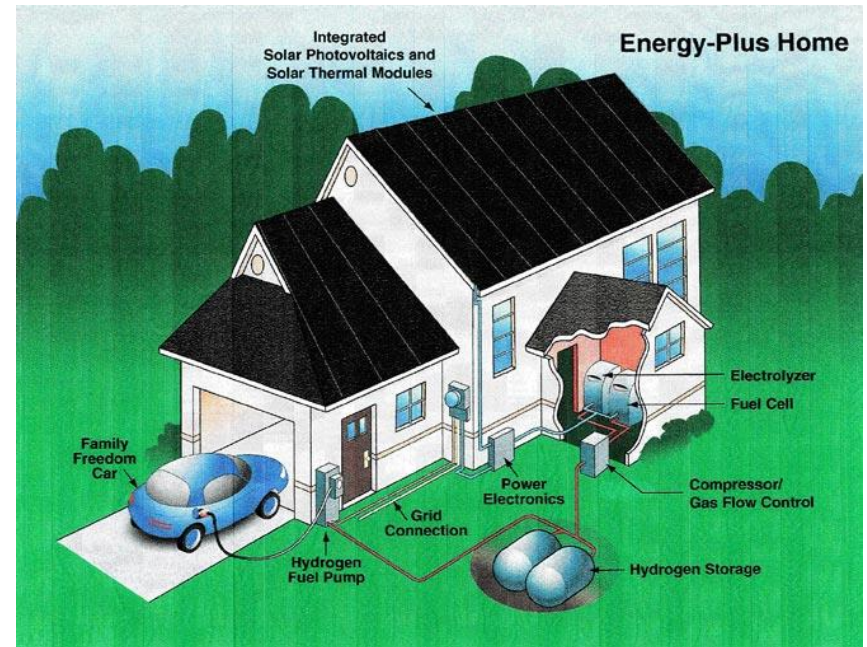


Imagen de la web del Colegio de Ing. Agrónomos de Chile

TRABAJO FIN DE GRADO

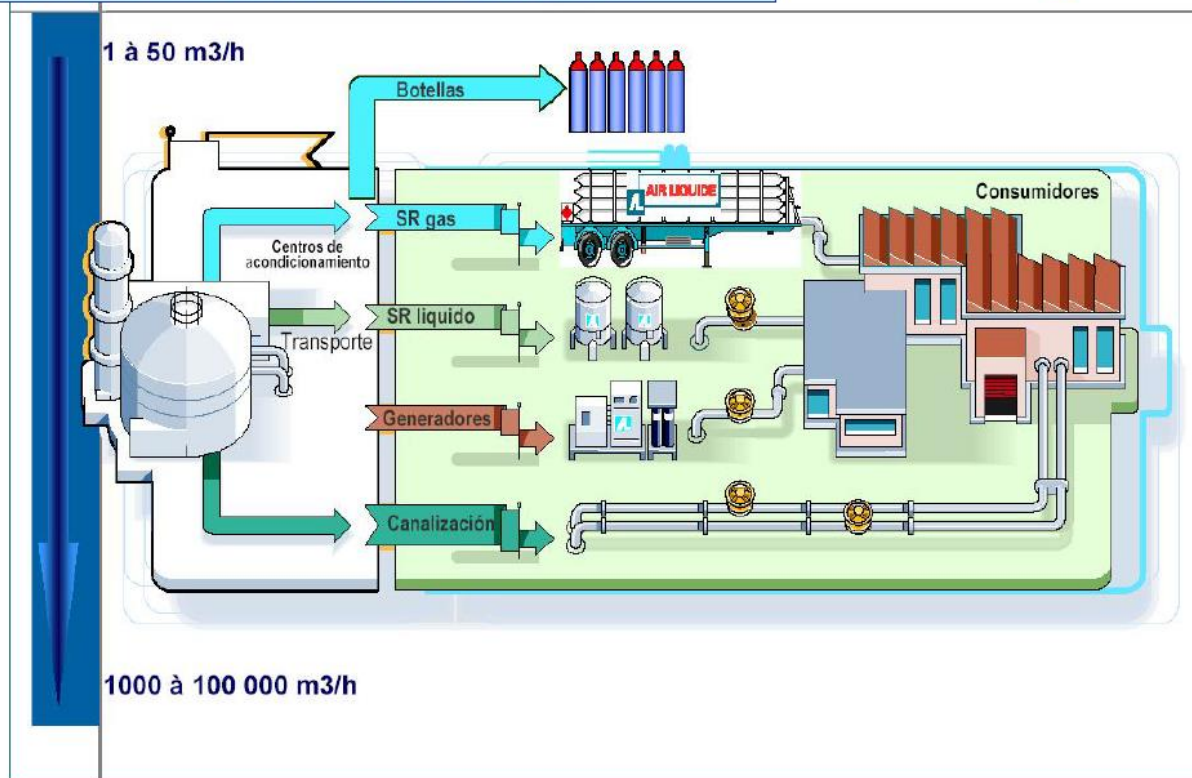
PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA



Logística de Distribución de Hidrógeno



ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION

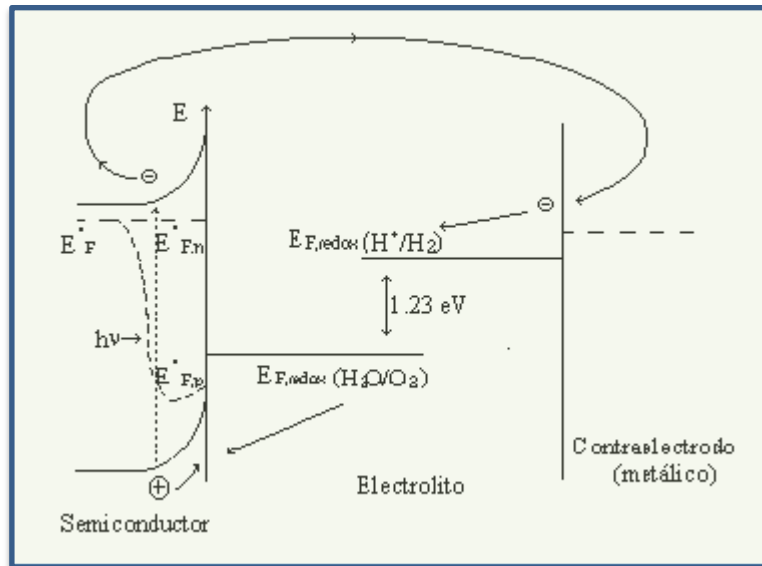


TRABAJO FIN DE GRADO

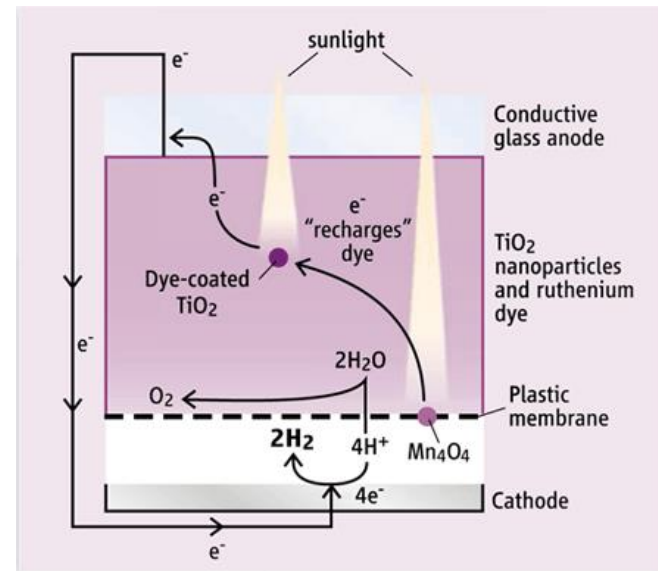
PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

EL FUTURO DEL HIDRÓGENO SERÁ LA FOTÓLISIS DEL AGUA

Semiconductores + nanotubos + membranas semipermeables ??????



Elena Vigil (Facultad de Físicas – Universidad de La Habana)



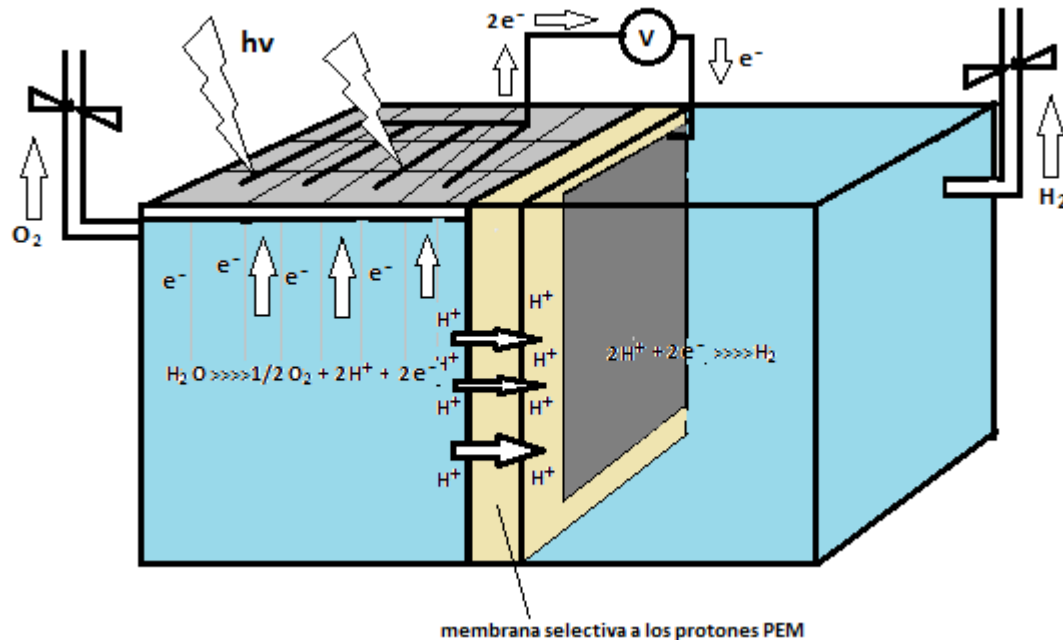
Robert F. Service, "[New Trick for Splitting Water With Sunlight](#)," Science 325: 1200-1201, 4 September 2009

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

EL FUTURO DEL HIDRÓGENO SERÁ LA FOTÓLISIS DEL AGUA

Semiconductores + nanotubos + membranas semipermeables ?????



Los nanotubos, por tener buenas propiedades eléctricas, podrían ser ideales para ejercer de interfase (electrodos) entre la celda fotovoltaica y el agua. También conductores bombardeados con iones de platino.

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE H₂ ONSITE PARA AUTOMOCIÓN A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

EL FUTURO DEL HIDRÓGENO SERÁ LA FOTÓLISIS DEL AGUA

