

Diseño de una pontona turística,
con propulsión eléctrica basada en
pila de combustible de hidrógeno,
para un río al interior del país en
zona protegida de contaminación

JOSE MARIA RIOLA
DOCTOR INGENIERO NAVAL
ENAP



A photograph of an industrial facility, likely a refinery or chemical plant, with several tall smokestacks emitting thick, dark plumes of smoke. The sky is a hazy, orange-brown color, suggesting a sunset or sunrise. The smokestacks are silhouetted against the bright sky. A semi-transparent white banner is overlaid across the middle of the image, containing the text "INGENIERÍA Y DESCARBONIZACIÓN".

INGENIERÍA Y DESCARBONIZACIÓN





01 La logística del transporte marítimo de cara a la transición energética

Transporte marítimo



Petróleo



Combustibles fósiles

Gas natural

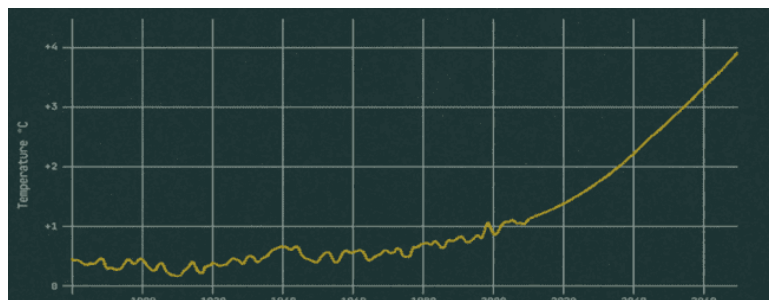
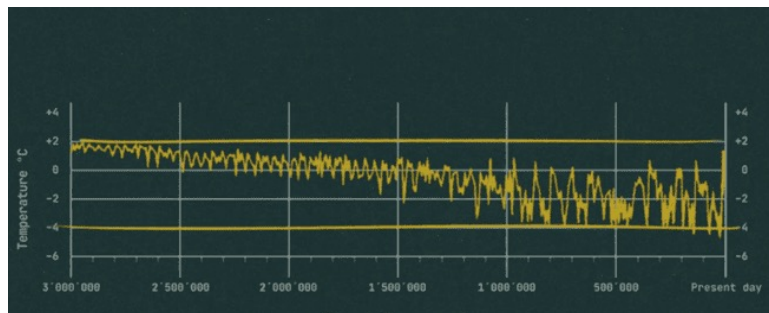


Carbón



Fuente: Iván Luna, 2022.











Picture from: María Raffino, 2020

TURISMO



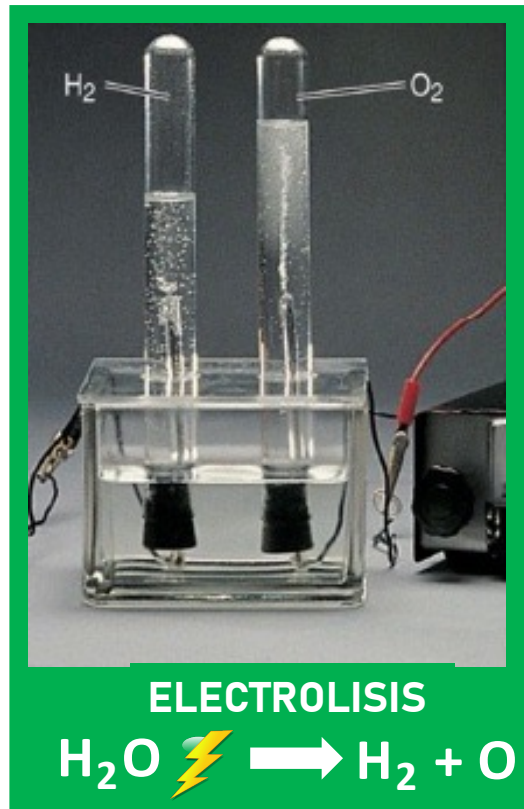
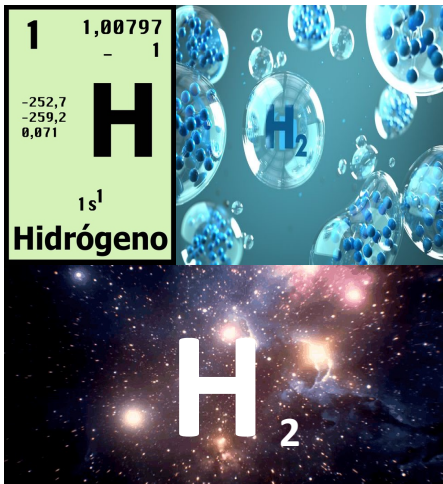
Picture from: El Periódico USA, 2018

ECONOMIA



Picture from: Rodrigo González, 2020

MEDIO AMBIENTE



VERDE

- H2** **HIDRÓGENO NEGRO**
se produce a partir de combustibles no renovables
- H2** **HIDRÓGENO MARRÓN**
producido a partir de la gasificación del carbón
- H2** **HIDRÓGENO GRIS**
producido a partir de gas natural
- H2** **HIDRÓGENO AZUL**
producido a partir de gas natural con la tecnología CAC
- H2** **HIDRÓGENO VERDE**
producido a partir de la electrólisis con fuentes de energía renovables



- **Coste**, debe bajar a una tercera parte para ser competitivo

- Licuefacción a una temperatura muy baja, **-253 °C**

- **Poco denso**, ocupa mucho volumen

- Hay que calentarlo y **regasificarlo**

- Producción mundial de H₂ se estima en unos 80 M tons para procesos industriales. Se prevén 270 M tons a mitad de siglo, 50 M para combustible, más o menos **la mitad de las necesidades** de energía del sector

- Producción y consumo se sitúan en el mismo **continente**. Podría circular por los gasoductos actuales de GNL

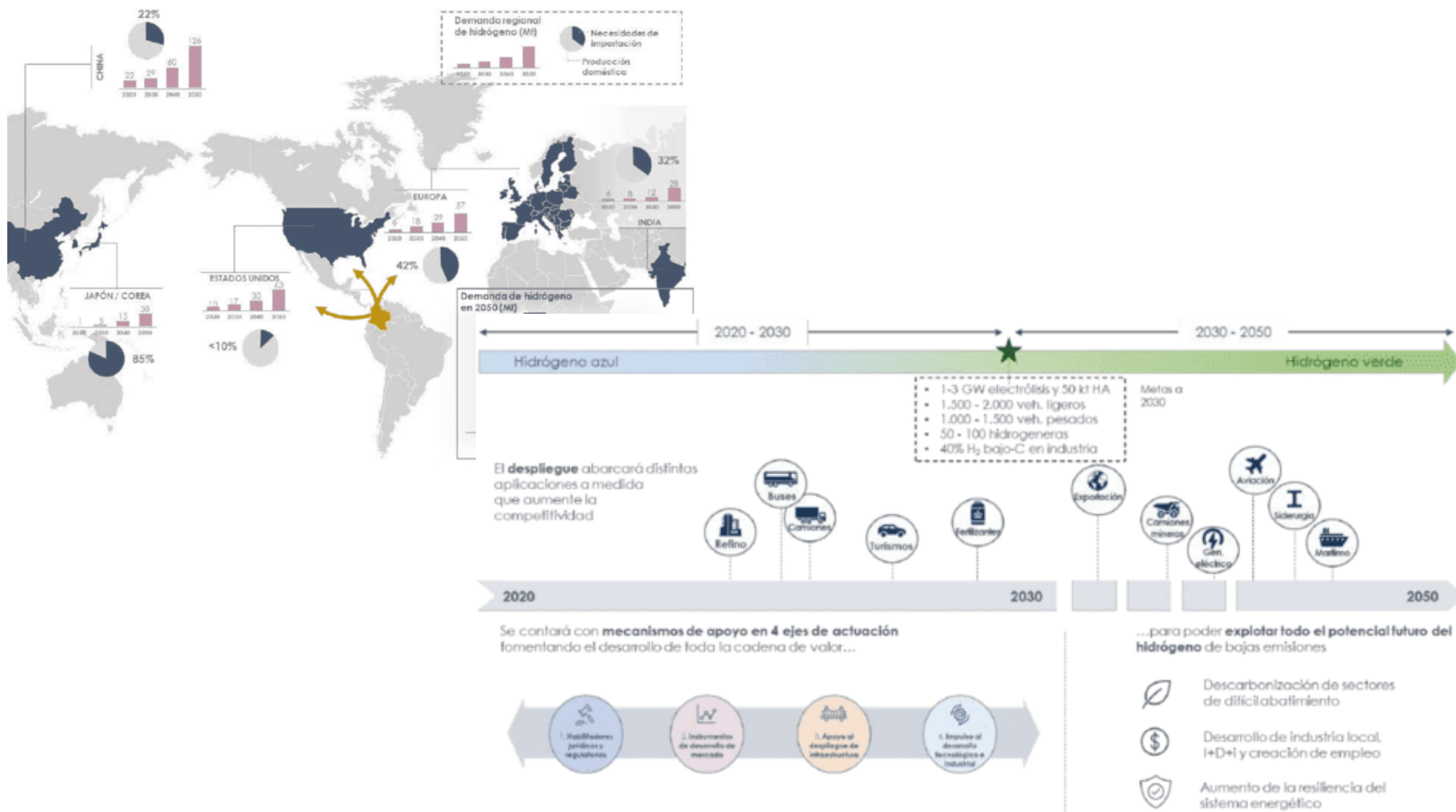
- Desde la logística, es más probable que se envíe **electricidad** a zonas de consumo y allí se fabrique el hidrógeno para su uso como gas



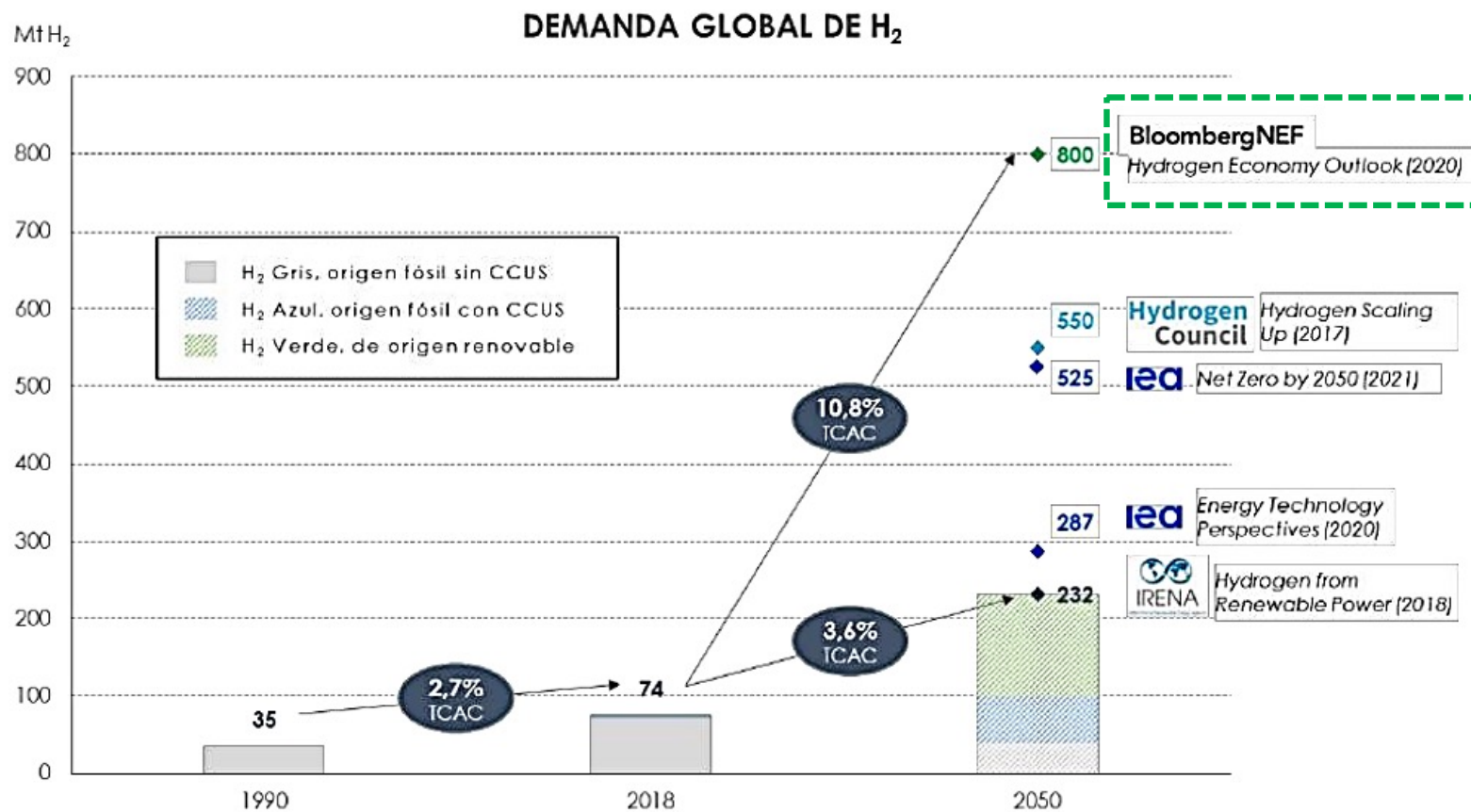


Combustible	Poder calorífico (MJ/kg)	Densidad (kg/m ³)	Densidad energética (MJ/m ³)	Peso necesario (ref. diésel)	Volumen necesario (ref. diésel)
Diésel	43,1	850	36635,00	1,00	1,00
Gasolina	43,4	720	31248,00	0,99	1,17
Aceites vegetales	37,5	925	34687,50	1,15	1,06
Etanol	27	789	21303,00	1,60	1,72
Metanol	19,9	791	15740,90	2,17	2,33
FAME biodiésel	37,8	880	33264,00	1,14	1,10
HVO vegetal	44	780	34320,00	0,98	1,07
Metano (C.N.)	47,1	0,716	33,72	0,92	1086,33
Metano líquido	47,1	422,6	19904,46	0,92	1,84
Amoniaco (C.N.)	18,65	0,771	14,38	2,31	2547,79
Amoniaco líquido	18,65	683	12737,95	2,31	2,88
Hidrógeno (C.N.)	120	0,08987	10,78	0,36	3397,04
Hidrógeno (350 bar)	120	24,13	2895,60	0,36	12,65
Hidrógeno (700 bar)	120	39,93	4791,60	0,36	7,65
Hidrógeno líquido	120	70,8	8496,00	0,36	4,31





Demanda de hidrógeno acuerdo a producción





MINISTERIO DE AMBIENTE Y
DESARROLLO SOSTENIBLE

[Inicio](#)

[Transparencia y Acceso a la
Información Pública](#)

[Atención y Servicios a
la Ciudadanía ▼](#)

[Participa](#)

[Ministerio ▼](#)

[Temáticas ▼](#)

[Normativa ▼](#)

[Sala de
Prensa ▼](#)

[Portal
Antiguo](#)

Cambio Climático y Gestión del Riesgo

[Inicio](#) > [Estrategias](#) > [Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono \(ECDBC\)](#)

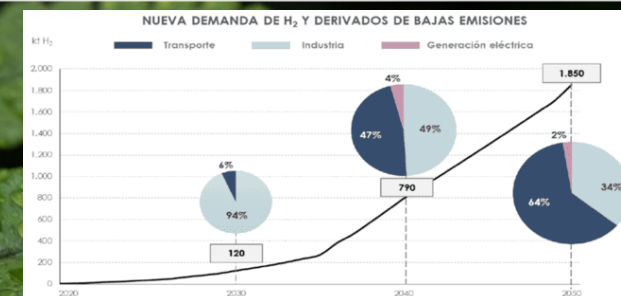


Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC)

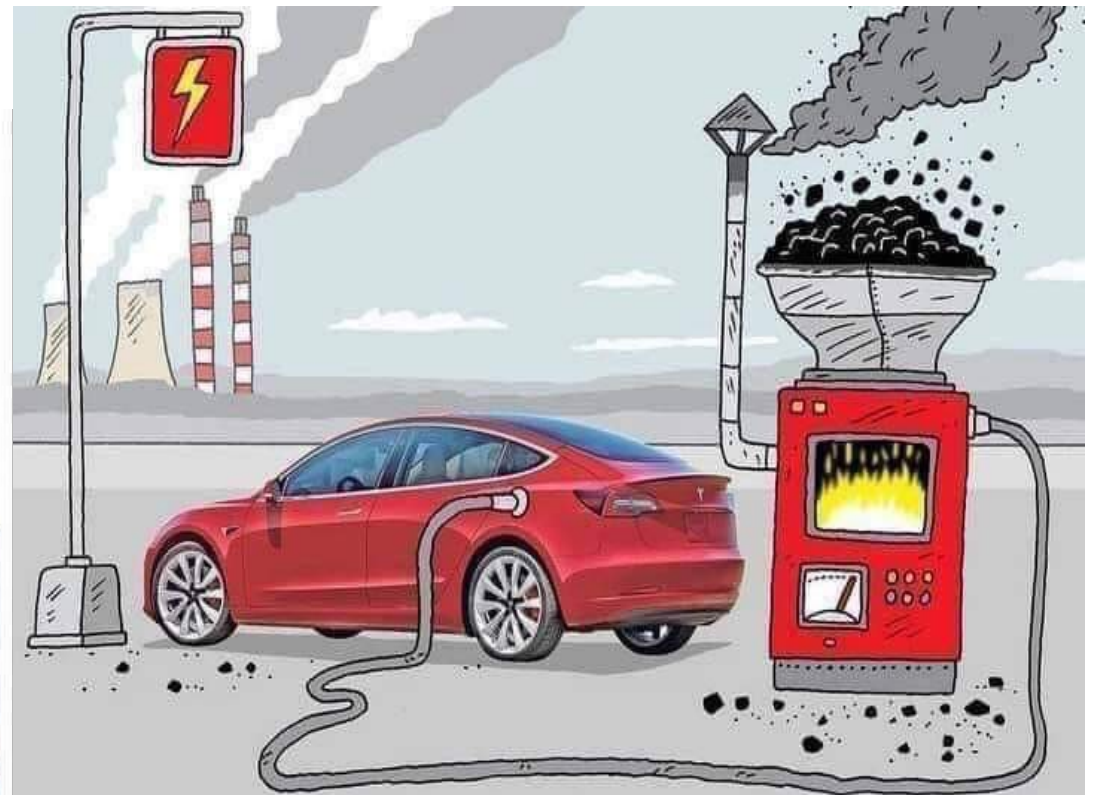
LA META CLIMÁTICA de Colombia al año 2030

es disminuir el 51% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). En su NDC quedó consignado un portafolio de 196 medidas de mitigación, adaptación y medios de implementación el país avanza con en este compromiso.

▶ Reproducir

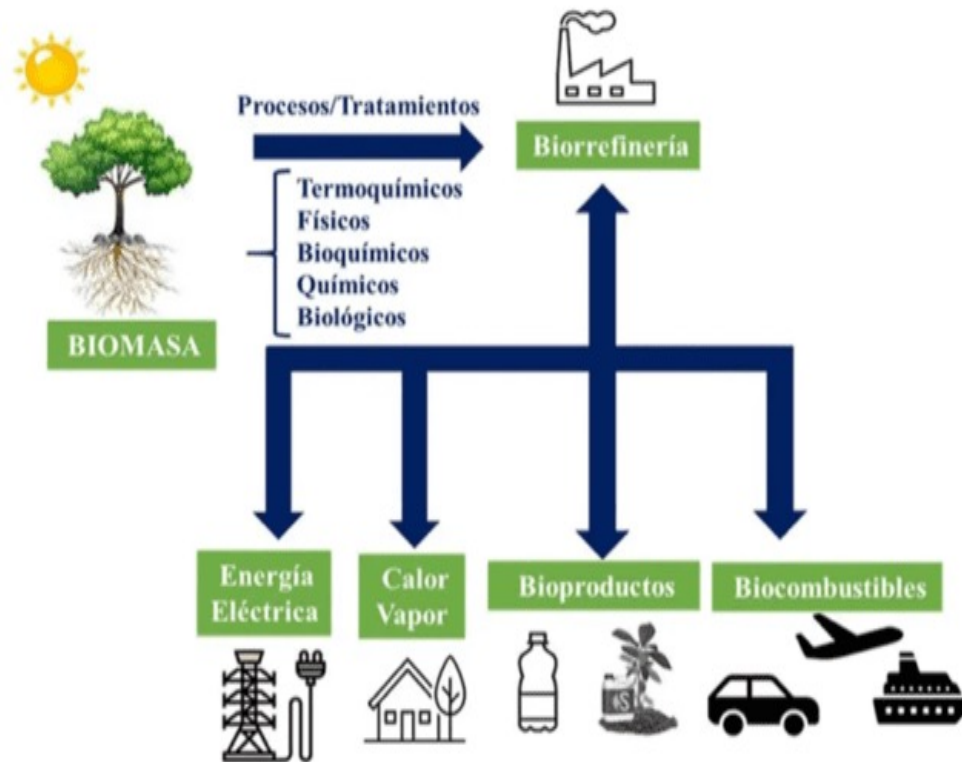


ESTO ES UNA CAT994A. QUEMA 1000 LITROS DE DIESEL CADA 12 HORAS PARA MOVER 250 TONELADAS DE TIERRA Y EXTRAER MATERIALES PARA PRODUCIR UNA BATERIA DE LITIO. Y LA GENTE TODAVIA LO LLAMA "EMISIONES CERO". CUANDO CONDUCE SU AUTOMOVIL ELECTRICO.



**CARGANDO EL TESLA
EN ALEMANIA.**

BIOCOMBUSTIBLES



Para sustituir las 350 millones de toneladas de combustible quemadas en los buques, se necesitan 1.000 millones de hectáreas de soja o palma.

No hay tierra suficiente en el mundo sin reducir el cultivo de alimentos (FAO).

El amoníaco salvó a la humanidad una primera vez. Ahora, podría hacerlo de nuevo con el hidrógeno

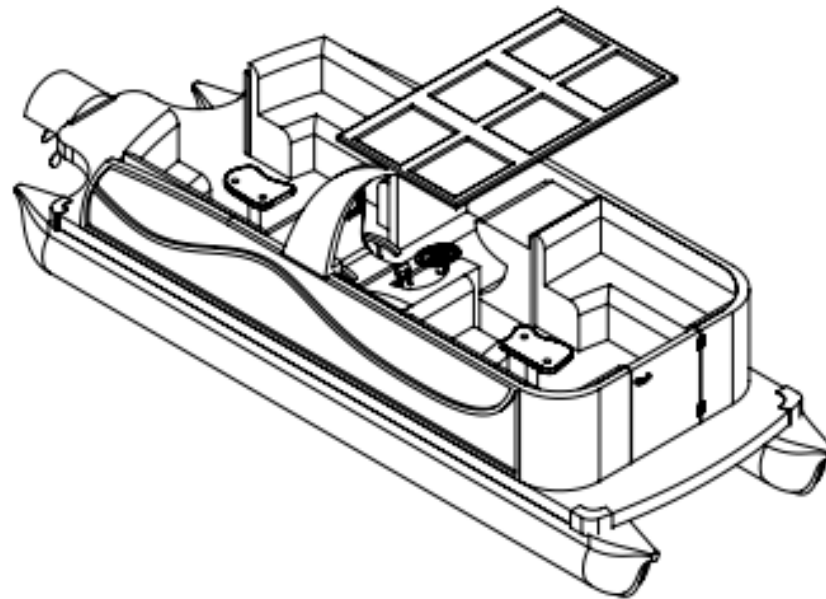








El proyecto

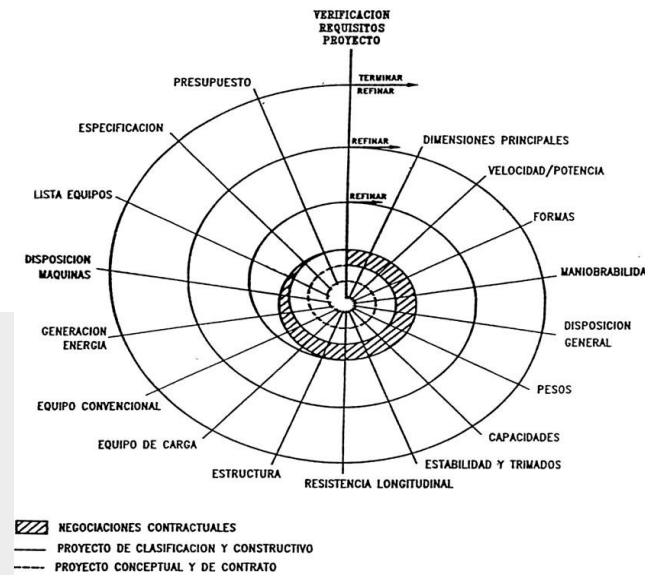






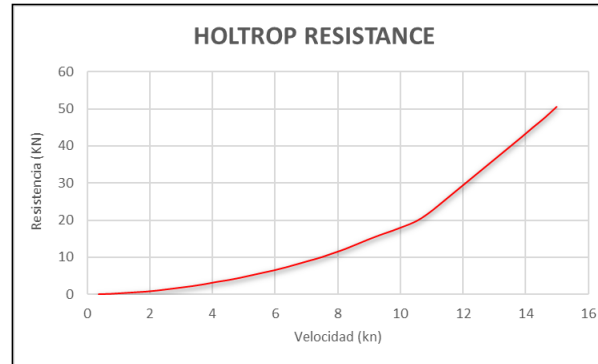


ESPIRAL DE DISEÑO

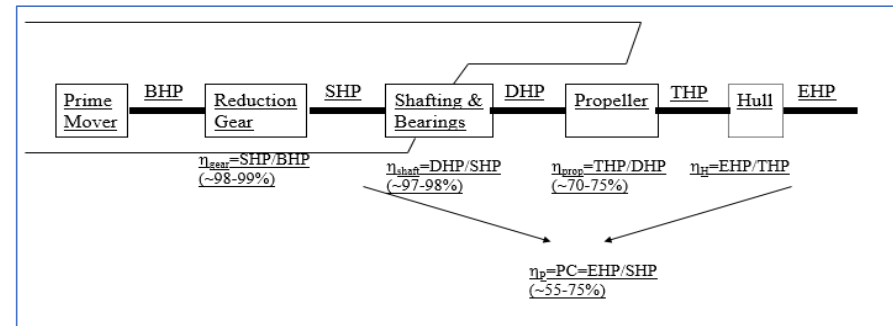


Espiral de Diseño
Fuente: (Ramón, 2017).

Velocidad (kn)	Potencia (kW)	Resistencia (KN)
0,375	0,007	0
0,75	0,049	0,1
1,125	0,161	0,3
1,5	0,371	0,5
1,875	0,71	0,7
2,25	1,206	1
2,625	1,884	1,4
3	2,77	1,8
3,375	3,889	2,2
3,75	5,262	2,7
4,125	6,914	3,3
4,5	8,867	3,8
4,875	11,144	4,4
5,25	13,771	5,1
5,625	16,777	5,8
6	20,192	6,5
6,375	24,055	7,3
6,75	28,424	8,2
7,125	33,277	9,1
7,5	38,648	10
7,875	44,782	11,1
8,25	51,937	12,2
8,625	60,039	13,5
9	68,575	14,8



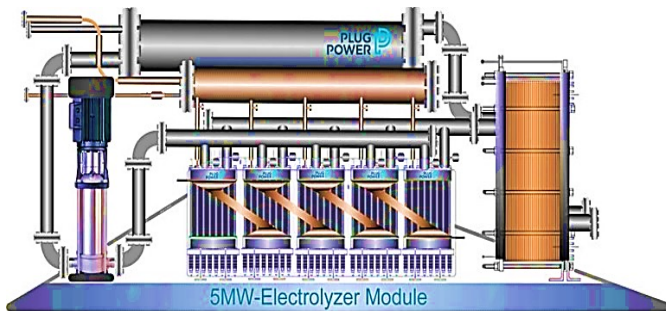
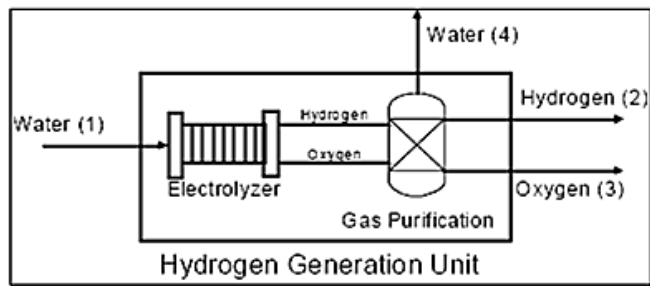
Potencia efectiva



(eficiencia propulsiva electrica)

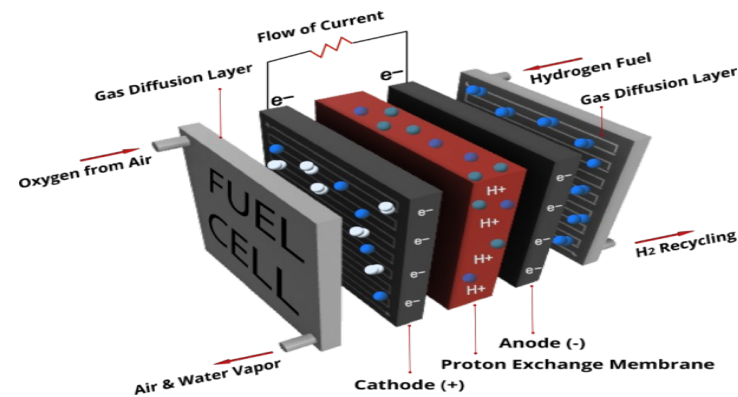
$$\eta_d = 0,73 \approx 73\% \text{ "United States Naval Academy"}$$

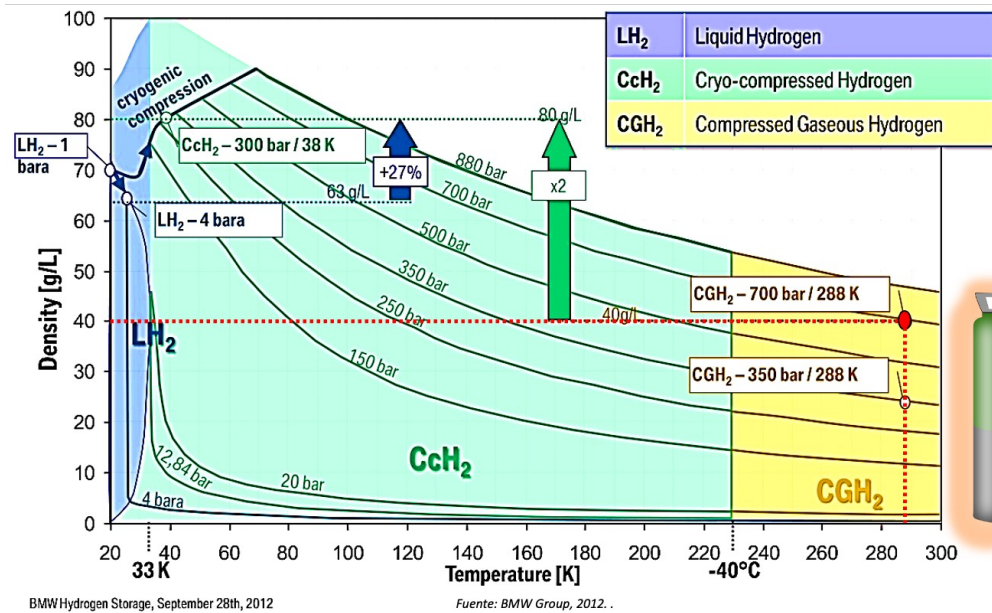
ELECTROLIZADOR



PILA

	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC	DMFC
Electrolito	Membrana de Polímero Sólido	Solución Alcalina	Ácido Fosfórico	Carbonatos Fundidos	Óxido Sólido	Membrana de Polímero Sólido
Temperatura Operación (°C)	60 - 80	100 - 120	200 - 250	600 - 700	800 - 1000	50 - 120
Rango potencia	5 - 250 kW	5 - 150 kW	50 kW - 11 MW	100 kW - 2 MW	100 - 250 kW	5 kW
Ventajas	Baja Temperatura Arranque rápido Baja corrosión y mantenimiento	Mayor eficiencia Reacción catódica más rápida	Acepta H2 impuro	Reformado interno Cogeneración	Reformado interno Cogeneración	No necesita reformador de combustible
Aplicaciones	Transporte Portátiles Residencial	Espaciales	Generación eléctrica distribuida y calor	Generación eléctrica distribuida y calor	Generación eléctrica distribuida y calor	Portátiles





POLARIZACIÓN

$$V = N (V_{CA} - R_s D_i - P_T L_n D_i - C_I e^{C_2 D_i})$$

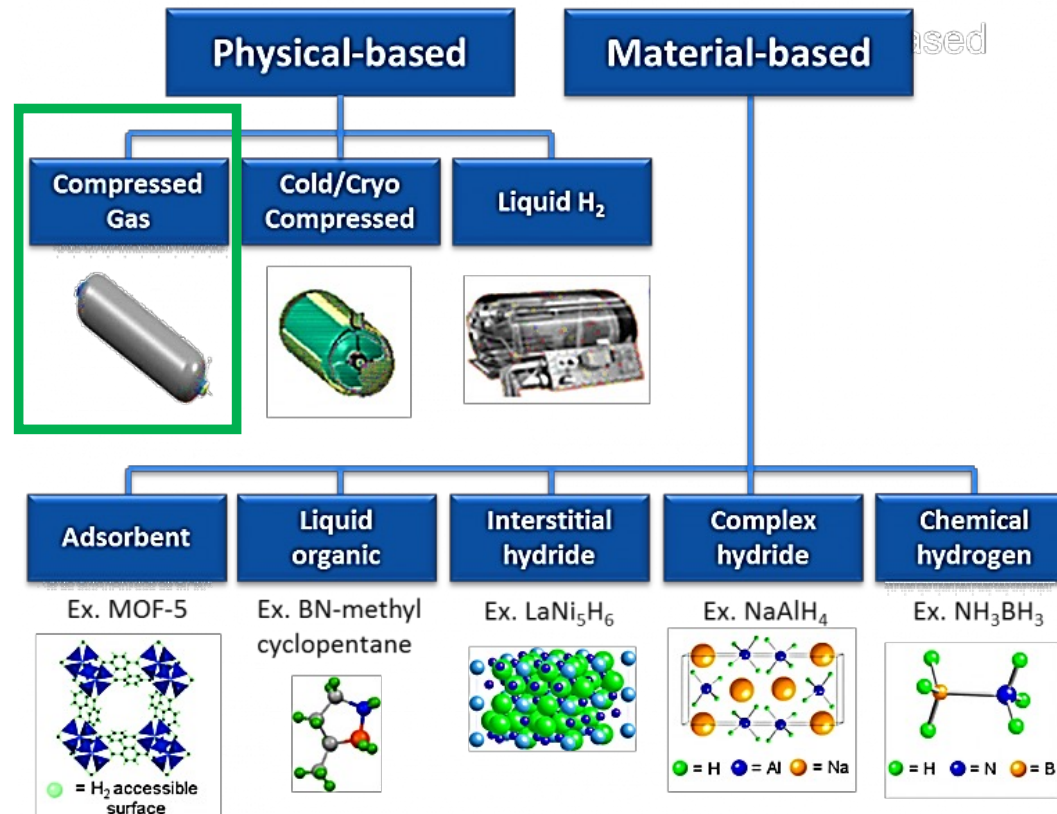
POTENCIA

$$P = \eta V D_i S$$

$$\text{Cantidad de hidrógeno (kg)} = \frac{\text{Potencia requerida (kW)} \times \text{tiempo (h)} \times 3600}{\eta_{pila} \times LHV (\text{KJ} / \text{kg})}$$

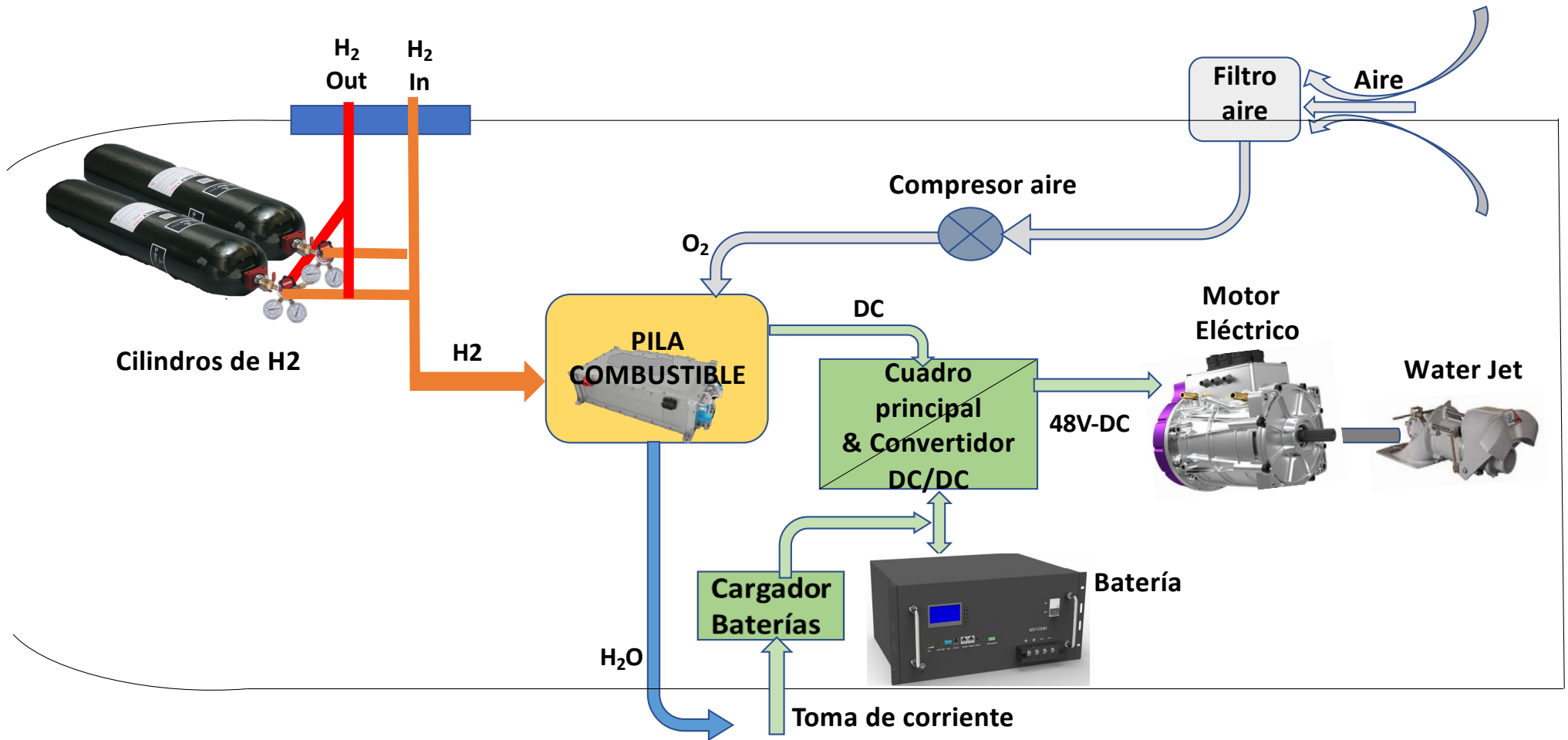
(poder calorífico hidrógeno) $LHV = 120.000 \text{ kJ} / \text{kg}$.

How is hydrogen stored?

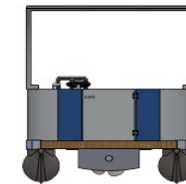
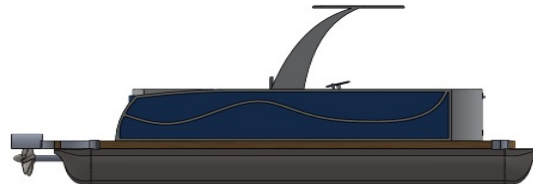
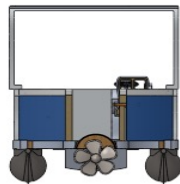
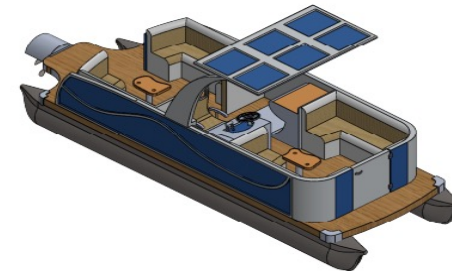


Fuente: Energy.gov, 2022.

SISTEMA DE PROPULSION



CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LA PONTONA TURISTICA		
CARACTERISTICA	CANTIDAD	UNIDAD
Autonomía requerida:	100	MN
Presión de almacenamiento:	350	bar
Temperatura de operación:	353	K
Presión de operación:	1,4	bar
Desplazamiento:	820	kgf
Manga:	2,76	m
Eslera:	8,7	m
Calado máximo:	0,86	m
Combustible:	Hidrógeno	N/A
Agente oxidante:	Aire	N/A
Flujo másico de combustible:	0,0014	kg/s
Eficiencia total de la pila:	44,54%	N/A
Almacenamiento:	Recipiente con estructura interna de fibra de carbono tipo 3	N/A
Capacidad de almacenamiento por botella:	4,93	kg
Diámetro botella:	415	mm
Longitud botella:	2110	mm
Peso botella vacía:	95	kg
Peso botella llena de H2:	99,93	kg
Cantidad de botellas requeridas:	4	unidad
Potencia nominal pila de combustible	70	W
Voltaje pila de combustible	212	V
Intensidad pila de combustible	400	A
Dimensiones de la pila de combustible	970 x 600 x 516	mm
Peso pila de combustible	170	kg
Pureza H2	99,995% seco	N/A
Refrigerante	Eetilengli / agua desionizante 50 / 50	N/A
Tipo motor eléctrico	Imanes permanentes	N/A
Longitud motor eléctrico	265,5	mm
Diametro motor eléctrico	254	mm
Potencia pico motor eléctrico	80	KW
Refrigeración	Agua / Circuito dual.	
Peso del motor eléctrico	45	kg
Potencia continua motor eléctrico	50	KW
Velocidad máxima	5	ktn
Material de contrucción	Aluminio	N/A



CARACTERISTICAS:

ESLORA: 8,7m

MANGA: 2,76 m

PUNTAL A CUBIERTA: 0,86 m



Nombre: David Naranjo Tabares

Escala: 1:25

Fecha:
9/07/2022

PROYECTO:
DISEÑO DE UNA PONTONA TURÍSTICA,
CON PROPULSIÓN ELÉCTRICA BASADA
EN PILA DE COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO,
PARA UN RÍO AL INTERIOR DEL PAÍS EN
ZONA PROTEGIDA DE CONTAMINACIÓN





Gracias 

JOSÉ MARÍA RIOLA
NAVAL ARCHITECT, PhD
8 03 2023