

'El hidrógeno en automoción'

Hidrogeneras



Asociación
Andaluza
del Hidrógeno

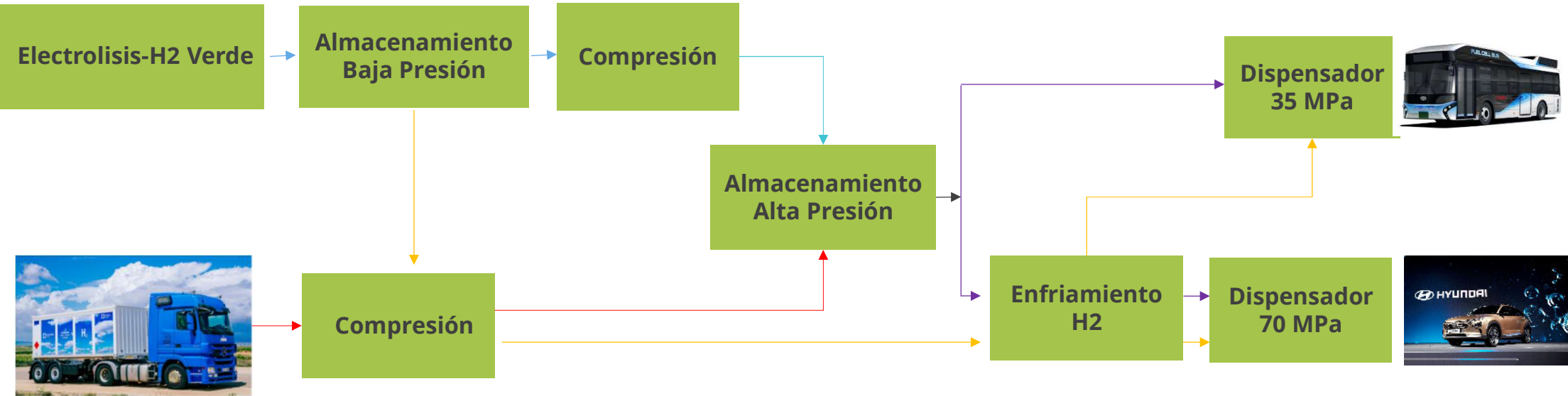
Francisco Montalbán
Clan Tecnológica S.L.



1. Introducción:

- ❖ La descarbonización del transporte por carretera cuenta con el Hidrógeno como gran protagonista. Ya están apareciendo en nuestras carreteras vehículos impulsados con motores eléctricos asociados a Pilas de Combustible como fuente de la energía eléctrica. Incluso están apareciendo motores de combustión interna usando Hidrógeno como combustible.
- ❖ Hay que desplegar un gran número de Estaciones de Servicio de Hidrógeno para cubrir las necesidades que de forma gradual irán apareciendo en el mercado para garantizar el correcto funcionamiento del transporte de emisiones cero.
- ❖ El diseño de la Hidrogenera deberá concebirse como un proceso industrial que requiere de numerosos cálculos, simulaciones, análisis de seguridad, cumplimiento de normativas, etc. Como ya se viene haciendo en la industria desde siempre.
- ❖ En esta presentación vamos a analizar los datos, elementos y sistemas principales a tener en cuenta para diseñar una Hidrogenera.

2. Esquema básico de una Hidrogenera



- Ruta del H2 producción en sitio – Almacenamiento Cascada
- Ruta del H2 producción remota respecto HRS – Almacenamiento cascada
- Ruta repostaje directo – Compresión a Vehículo

3. Datos de partida para el diseño de una Hidrogenera:

Debido a que las tecnologías del Hidrógeno todavía no están en un nivel de producción de escala, el CAPEX asociado a una Hidrogenera es todavía elevado para el volumen de negocio esperado en una Hidrogenera actual.

Esto nos aconseja que planifiquemos el diseño de la Hidrogenera, para que este se ajuste en lo máximo posible a las necesidades reales de la flota a repostar. (Siempre que sea posible).

Será adecuado, como punto de partida, diseñar Hidrogeneras para flotas, teniendo el conocimiento inicial de datos que permitan optimizar el CAPEX y OPEX, como son:

- a) Tipo y número de vehículos a repostar al día.
- b) Tiempo de llenado de cada vehículo esperado / deseado.
- c) Ventana de repostaje, si la hay y se puede planificar. Operación planificada, operación aleatoria.
- d) Origen del Hidrógeno
- e) Requisitos de diseño específicos del cliente, si los hay. Requisitos del vehículo / Fabricante.

3. Datos de partida para el diseño de una Hidrogenera:

a) Tipo y número de vehículos a repostar cada día:

Como ya sabemos hay dos tipos principales de repostaje:

- Vehículos pesados a 350 bar
- Vehículos ligeros a 700 bar



Se tratará de definir el número de vehículos que se desean llenar cada día de cada tipo de presión, analizar el volumen de gas H₂ que se deban dispensar por cada vehículo, en función del tamaño del tanque de H₂ a bordo, o de la ruta o kilómetros que se realizarán cada día con un determinado vehículo.

Con estos datos podremos determinar CUANTO hidrógeno necesitamos cada día para la correcta operación de dispensado.

3. Datos de partida para el diseño de una Hidrogenera:

b) Tiempo de llenado / repostaje por vehículo:

Es importante definir con el cliente/usuario el tiempo máximo en el que se desea llenar el vehículo.

Cuanto más corto sea este tiempo más complejidad conferiremos al diseño de la Hidrogenera.



Por normativa se define que podemos llegar a velocidades de llenado de vehículos máximas de 120 g/s en pesados y de 60 g/s en ligeros.

Un vehículo pesado posee un tanque con capacidades muy variables, entre 35 y 80 Kg de H₂ totales.

Un vehículo ligero, en modelos actuales, entre 5 y 6,5 Kg de H₂.

Definir estos tiempos nos permitirá optimizar tipos y tamaños de compresores y cantidad de H₂ almacenado en sitio.

Debe tenerse en cuenta la temperatura ambiente, España es en general, muy calurosa en verano, mayor velocidad de repostaje provocará aumentos de temperatura en los tanques del vehículo que puedan sobrepasar el límite de diseño. Deberá considerarse la instalación de Sistemas de enfriamiento del Hidrógeno también en vehículos pesados..

3. Datos de partida para el diseño de una Hidrogenera:

c) Ventana de tiempo para el repostaje:

Operación planificada o aleatoria de una HRS.

De nuevo el tiempo, pero en este caso, analizar si podemos PLANIFICAR el proceso de repostaje.



Si priorizamos el despliegue de Hidrogeneras para repostaje de flotas que puedan planificar en qué momento del día se procede al repostaje y número de repostajes cada día, podremos optimizar mucho el diseño de estas HRS.

Si no es así, habrá que diseñar para un modo de operación aleatorio, que exigirá un diseño muy distinto y generalmente con mayor CAPEX.

Compresores y almacenamientos de mayor capacidad.

3. Datos de partida para el diseño de una Hidrogenera:

d) Origen del Hidrógeno que alimenta la HRS.

A parte de la calidad del Hidrógeno, y que preferiblemente deberá tenderse a usar Hidrógeno verde para lograr la deseada descarbonización, la procedencia del Hidrógeno definirá la PRESION inicial y el flujo de H₂, que nos permita seleccionar tipo de compresores y sus especificaciones para responder a las exigencias del repostaje.

Actualmente, y con la tecnología disponible se puede optar por disponer de H₂ en la propia Hidrogenera con:

- ❖ Electrolisis Alcalina o PEM en sitio, con presiones de H₂ entre 1 y 40 bar.
- ❖ Reformado de Gas en sitio, con presiones de H₂ entre 5 y 10 bar.
- ❖ Producción directa de H₂ con energía solar, tipo Fusion Fuel.
- ❖ Camiones de transporte de H₂ que suministren H₂ entre 200 y 300 bar.
- ❖ Tuberías de Hidrógeno que lleven H₂ puro o mezclado con Gas Natural a presiones de 10-30 bar.

Definir correctamente el origen del H₂ en la Hidrogenera es crucial de nuevo para definir el tipo de compresor/es y el almacenamiento fijo necesario para garantizar operación de la HRS.

Cuanta más baja sea la presión de inicio, más complejidad y CAPEX habrá que tener en cuenta.

3. Datos de partida para el diseño de una Hidrogenera:

e) Requisitos específicos del cliente / usuario:

Hay factores que determinarán el diseño de la Hidrogenera, a parte de los descritos anteriormente, a modo de ejemplo:

- ❖ Tiempo de operación de la HRS, horarios: a veces debemos trabajar en horarios definidos, por ejemplo cuando el coste eléctrico es menor.
- ❖ Redundancia de equipos: Redundar equipos como compresores o dispensadores permitirá disponer de la Hidrogenera más tiempo, evitando paradas por averías o mantenimientos.
- ❖ Redundancia por Hidrógeno extra almacenado. Almacenar Hidrógeno para asegurar suministro ante posibles fallos. Tener en cuenta la normativas relacionadas con la ubicación de la HRS y la cantidad permitida a almacenar de H₂. (SEVESO).
- ❖ Venta de parte del H₂ producido en la HRS a otros clientes, por ejemplo en camiones / tube trailer.
- ❖ Condicionantes del vehículo a repostar; diseño de los tanques a bordo. Temperaturas límite.

Estos elementos afectarán al CAPEX, pero hay que tenerlos en cuenta.

4. Otros equipos de la HRS:

❖ PLC: Control de dispensado, control de planta.

El proceso de dispensado se controla a través del PLC integrado en el dispensador.

No obstante, hay que disponer de un PLC que permita el control / integración de todos los Sistemas que componen la Hidrogenera:

- Electrolizador si lo hay.
- Compresores.
- Almacenamientos diversos.
- Enfriamiento.
- Aire Neumática.
- Monitorización del funcionamiento.
- Sistema de protección / mitigación contra incendios.

De nuevo destacar que esto es lo habitual en la industria oil&gas.

4. Otros equipos de la HRS:

❖ Detectores de Fugas.

Los detectores de fugas son fundamentales en una instalación de Hidrógeno a presión de cara a dar seguridad.

En lugares confinados, el empleo de detectores catalíticos es lo habitual.

Pero cuando disponemos de almacenamientos a presión y dispensadores, instalados a la intemperie, la detección debe realizarse con otro tipo de detectores:

- . Detectores de Llama.
- . Detectores de Ultrasonidos.

La ubicación de estos equipos deberá ser realizada por una empresa especializada. Las implicaciones derivadas de una detección de fuga deberán trasladarse al PLC de control.

❖ Sistema Contra Incendios:

Habrá que hacer cálculos de carga de fuego para determinar que sistema es el más adecuado para mitigar un posible incendio..

5. Análisis de Seguridad y Riesgos.

- ❖ La seguridad es fundamental a tener en cuenta en el diseño de una Hidrogenera.
- ❖ Hay que realizar algunos estudios, algunos en los primeros estadios de diseño, como el HAZID, y en etapa de detalle un HAZOP/SIL para determinar que el diseño es seguro y cumple con normativa y seguridad. En general, deberían abordarse, al menos, los siguientes estudios en el diseño e implantación de una Hidrogenera:
 - Estudio HAZID
 - Estudio QRA
 - Estudio de distancias de seguridad
 - Estudio FERA (Fire & Explosion Risk Assessment) & BRA (Building Risk Assessment)
 - Estudio HAZOP (Parte proceso)
 - Estudio HAZOP (Electrolizador)
 - Estudio Asignación SIL (Parte proceso)
 - Estudio Asignación SIL (Electrolizador)
 - Estudio Verificación SIL (Parte proceso)
 - Estudio Verificación SIL (Electrolizador)

Observar la normativa SEVESO respecto al almacenamiento de Hidrógeno.

6. Calidad del Hidrógeno en Vehículos FC:

❖ La ISO 14687 nos define la Calidad que debe tener el H₂ que vaya a ser usado en Vehículos de Pila de Combustible.

Constituents ^a (assay)	Type I, Type II grade D
Hydrogen fuel index (minimum mole fraction) ^b	99,97 %
Total non-hydrogen gases (maximum)	300 µmol/mol
Maximum concentration of individual contaminants	
Water (H ₂ O)	5 µmol/mol
Total hydrocarbons except methane ^c (C1 equivalent)	2 µmol/mol
Methane (CH ₄)	100 µmol/mol
Oxygen (O ₂)	5 µmol/mol
Helium (He)	300 µmol/mol

^a For the constituents that are additive, such as total hydrocarbons and total sulphur compounds, the sum of the constituents shall be less than or equal to the acceptable limit.

^b The hydrogen fuel index is determined by subtracting the "total non-hydrogen gases" in this table, expressed in mole percent, from 100 mole percent.

^c Total hydrocarbons except methane include oxygenated organic species. Total hydrocarbons except methane shall be measured on a C1 equivalent (µmol/mol).

^d The sum of measured CO, HCHO and HCOOH shall not exceed 0,2 µmol/mol.

^e As a minimum, total sulphur compounds include H₂S, COS, CS₂ and mercaptans, which are typically found in natural gas.

^f All halogenated compounds which could potentially be in the hydrogen gas [for example, hydrogen chloride (HCl) and organic chlorides (R-Cl)] should be determined by the hydrogen quality control plan discussed in ISO 19880-8. Halogenated compounds shall be measured on a halogen ion equivalent (µmol/mol).

^g Particulate includes solid and liquid particulates comprises of oil mist. Large particulates can cause issues with vehicle components and should be limited by using filter as specified in ISO 19880-1. No visible oil shall be found in fuel at a nozzle.

6. Calidad del Hidrógeno en Vehículos FC:

Constituents ^a (assay)	Type I, Type II grade D
Nitrogen (N ₂)	300 µmol/mol
Argon (Ar)	300 µmol/mol
Carbon dioxide (CO ₂)	2 µmol/mol
Carbon monoxide (CO) ^d	0,2 µmol/mol
Total sulphur compounds ^e (S1 equivalent)	0,004 µmol/mol
Formaldehyde (HCHO) ^d	0,2 µmol/mol
Formic acid (HCOOH) ^d	0,2 µmol/mol
Ammonia (NH ₃)	0,1 µmol/mol
Halogenated compounds ^f (Halogen ion equivalent)	0,05 µmol/mol
Maximum particulate concentration ^g	1 mg/kg
^a For the constituents that are additive, such as total hydrocarbons and total sulphur compounds, the sum of the constituents shall be less than or equal to the acceptable limit. ^b The hydrogen fuel index is determined by subtracting the "total non-hydrogen gases" in this table, expressed in mole percent, from 100 mole percent. ^c Total hydrocarbons except methane include oxygenated organic species. Total hydrocarbons except methane shall be measured on a C1 equivalent (µmol/mol). ^d The sum of measured CO, HCHO and HCOOH shall not exceed 0,2 µmol/mol. ^e As a minimum, total sulphur compounds include H ₂ S, COS, CS ₂ and mercaptans, which are typically found in natural gas. ^f All halogenated compounds which could potentially be in the hydrogen gas [for example, hydrogen chloride (HCl) and organic chlorides (R-Cl)] should be determined by the hydrogen quality control plan discussed in ISO 19880-8. Halogenated compounds shall be measured on a halogen ion equivalent (µmol/mol). ^g Particulate includes solid and liquid particulates comprises of oil mist. Large particulates can cause issues with vehicle components and should be limited by using filter as specified in ISO 19880-1. No visible oil shall be found in fuel at a nozzle.	

6. Calidad del Hidrógeno en Vehículos FC:

- ❖ Este tipo de análisis es complejo y muy caro hacerlo en línea de forma continua. La mejor solución es tomar muestra cada cierto tiempo para comprobar la no contaminación del Hidrógeno.
- ❖ El proceso que engloba la operación de dispensado, deberá asegurar que no haya posibilidades de contaminar el Hidrógeno, sobre todo los compresores podrían ser la fuente de alguna contaminación de líneas de H₂. Hay que atender al diseño de estos sistemas y la forma de lubricación.
- ❖ El origen del H₂ determinará esta pureza. Hidrógeno electrolítico es el más limpio, no poseerá contaminantes como Hidrocarburos o azufrados.
- ❖ Los fabricantes de boqueroles ofrecen un sistema de recogida de muestra de Hidrógeno a la salida del dispensador, y así poder realizar análisis periódicos de la calidad del H₂, asegurando que no hay contaminantes en la línea.

Las muestras se llevan a un Laboratorio acreditado para su análisis.

También hay soluciones de análisis en línea.



Foto: GTI Energy

7. Como responder a necesidades futuras en una HRS.

- ❖ Hasta ahora hemos estado analizando como diseñar, planificar, construir, etc..., de Hidrogeneras que de alguna manera podamos planificar su operación. Eso no será sostenible si consideramos una Hidrogenera como un negocio similar a lo que es una Estación de Servicio. Este negocio ha de ser rentable. Para ello habrá que tener Hidrogeneras con capacidad de repostaje casi ilimitado, con una gran disponibilidad.
- ❖ Además la huella que ocupa los diseños actuales son grandes, hay que trabajar en la reducción del tamaño de las Hidrogeneras a la par de ofrecer servicio amplio de la misma.
- ❖ En estos momentos:
 - El Hidrógeno Líquido
 - El suministro de H₂ hacia la HRS a través de tuberías,
 - Dispensado directo desde almacenamiento de baja presión a vehículo.

Son formas de suministro que darían lugar a un negocio “rentable” para las HRS.

7. Como responder a necesidades futuras en una HRS.

- ❖ A continuación muestro ejemplos de tres proyectos que se están llevando a cabo para aumentar la velocidad de dispensado, y la cantidad de H₂ dispensado con el objetivo de aumentar la autonomía de los vehículos, sobre todos camiones de largo recorrido.
- ❖ Son ejemplos de una presentación realizada por Toyota Europa el pasado 15 de octubre del 2021 y dan idea de hacia donde se avanza en estos momentos en el diseño de HRS.

8. Como responder a necesidades futuras en una HRS.

	EU(Prhyde)	NA(DOE)	JP(NEDO)	
Target filling rate	CHSS:80kg full (6kg/min × 10min) (by 2030)	CHSS:80kg full (6kg/min × 10min) (by 2030) 10kg/min × 6min (by 2050)	CHSS:80kg full (6kg/min × 10min) (by 2030)	MS① MS②
Target cruising range	1000km	960km (by 2030) 1200km (by 2050)	approx.1000km(by 2030)	

Performance goals:

- 100 kg tank (1000 km Cruising Range)
- Fuelling time: 10 to 15 minutes
- Performance goal for HDV: $100\text{kg} \times 0.75 / 10\text{-}15\text{min} = 5 \text{ to } 7.5 \text{ kg/min}$
(Reference: LDV = $7 \text{ kg} \times 0.75 / 3\text{min} = 1.75 \text{ kg/min}$)
- HDV flow taret is **x2.9** to **x4.3** of LDV flow rate

8. Como responder a necesidades futuras en una HRS.

Which nozzle to use for fuelling HD vehicles?

											
Fueling Time (minute)		H70		H70MF		H70x2		H70MFx2		H70HF	
											
Maximum Flow rate (g/sec)		60		TBD		120		TBD		300	
Practical average flow (g/sec)		30		45		60		90		150	
ff (flow factor)		1		1.5		3		3		5	
V_station D (Station vol factor)		137	174	137	174	137	174	137	174	137	174
CHSS (kg)	Fueling amount (kg)	Fueling time = $\Delta 70\text{MPa} / (\text{APRR_target})$									
100	75	45	35	30	23	22	18	15	12	9	7
90	68	40	32	27	21	20	16	13	11	8	6
80	60	36	28	24	19	18	14	12	9	7	6
70	53	31	25	21	16	16	12	10	8	6	5
60	45	27	21	18	14	13	11	9	7	5	4
50	38	22	18	15	12	11	9	7	6	4	4
40	30	18	14	12	9	9	7	6	5	4	4
30	23	13	11	9	7	7	5	4	4	4	4

Note.

Fueling time and amount are assumed based upon the reference conditions of performance goals in J2601

Reference conditions: Fueling from 10MPa (SOC20%) to SOC95% (80MPa)

	> 15 minutes
	10 to 15 minutes(Target)
	< 10 minutes



Francisco Montalbán
montalban@clantech.es

www.clantech.es

Somos el futuro que te contábamos ayer
clantech₂



**Asociación
Andaluza
del Hidrógeno**