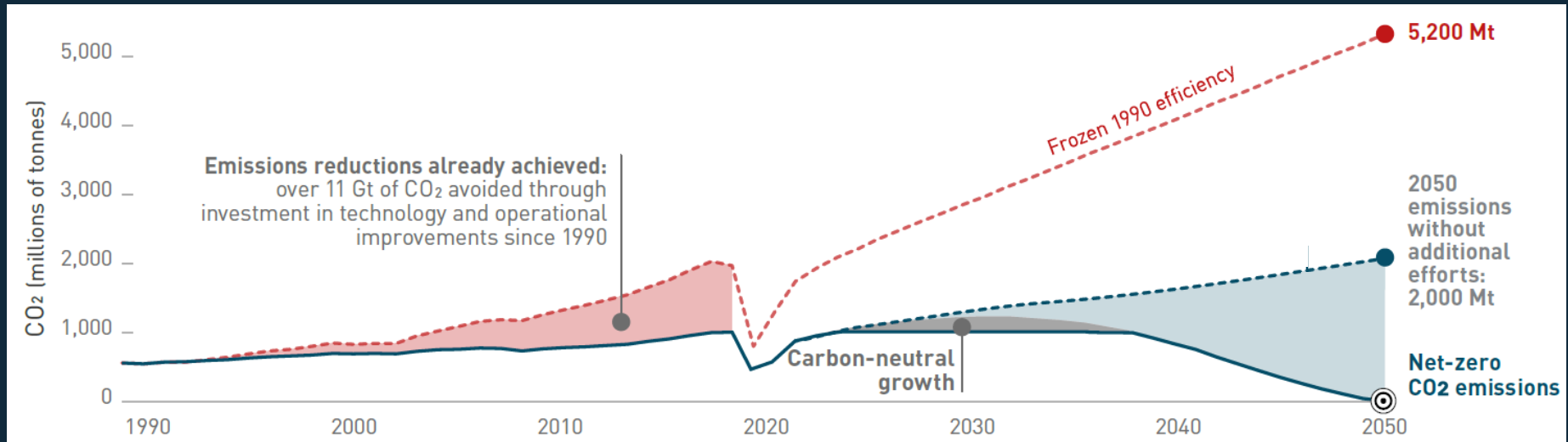


Habilitando el almacenamiento de hidrógeno en aeronaves

Diciembre / 2022

David Cimadevilla en nombre del equipo de innovación de Aciturri

Se requiere un modelo de aviación sin emisiones de CO₂

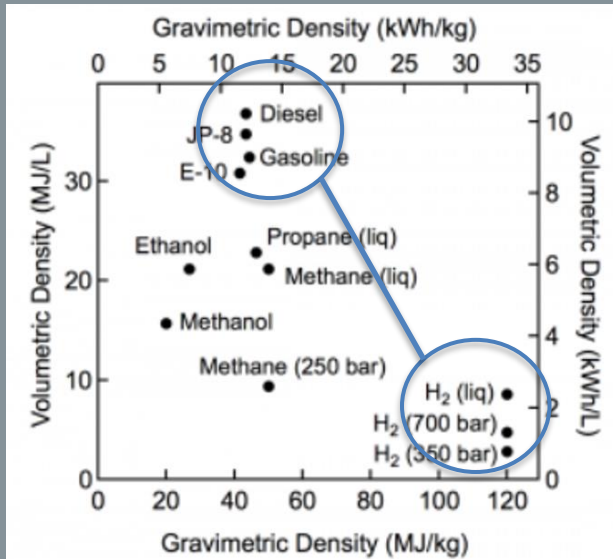


Source: ATAG 2050 Waypoint

¿Es posible técnica y económicamente dar respuesta a esta necesidad?

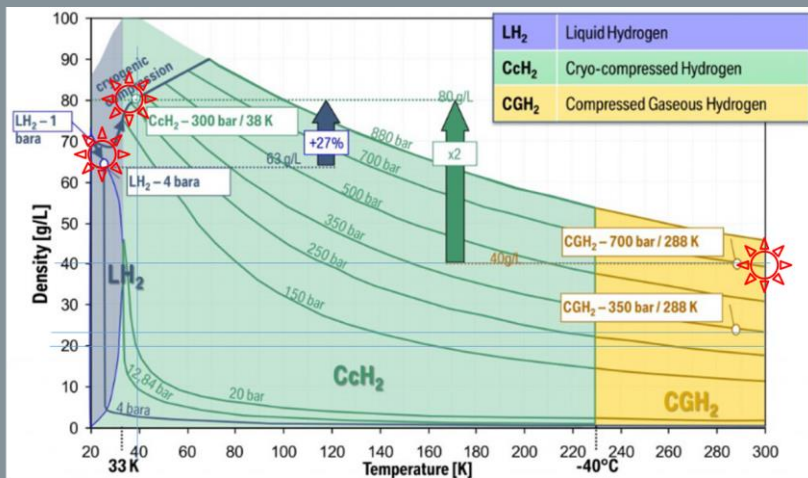
Los retos del H2

Rendimiento volumétrico y gravimétrico

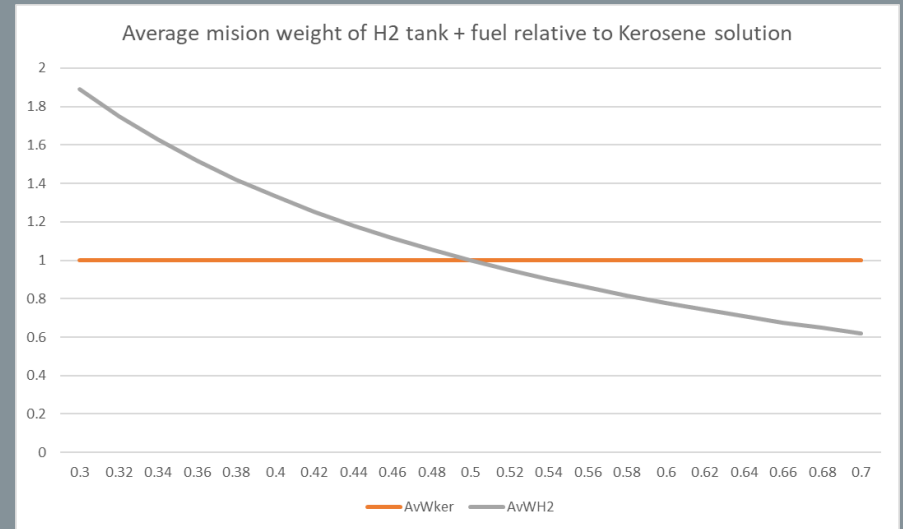
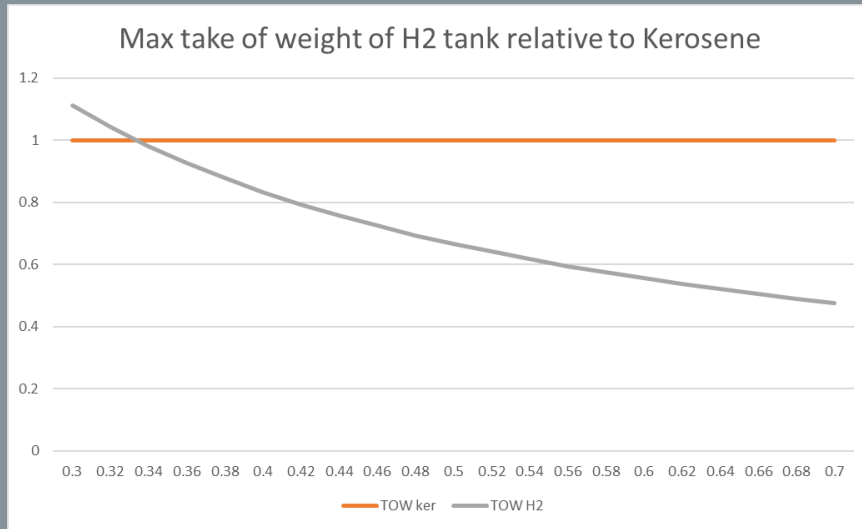


En relación al Keroseno:

- Incluso licuado, requiere multiplicar por 4 el volumen del combustible para almacenar la misma cantidad de energía. En formato gas, esta relación aumenta a 8:1 o más.
- El rendimiento energético por unidad de peso, si atendemos sólo al combustible es prácticamente tres veces mejor en el H₂ que en el Keroseno. Sin embargo, bien sea por tener que almacenarlo a muy alta presión, muy baja temperatura o ambos, el peso del tanque acaba por arruinar esa ventaja.



Valores objetivo relevantes del rendimiento gravimétrico



Hydrogen storage: Phase

COMPRESIONADO (CGH₂):

- Incluso a presiones de 700 Bar se requieren volúmenes enormes
- Paredes gruesas y peso alto (IG<10%)
- A 700 Bar es un 36% menos denso que el LH₂
- Riesgo en caso de rotura por impacto en tierra

LICUADO (LH₂):

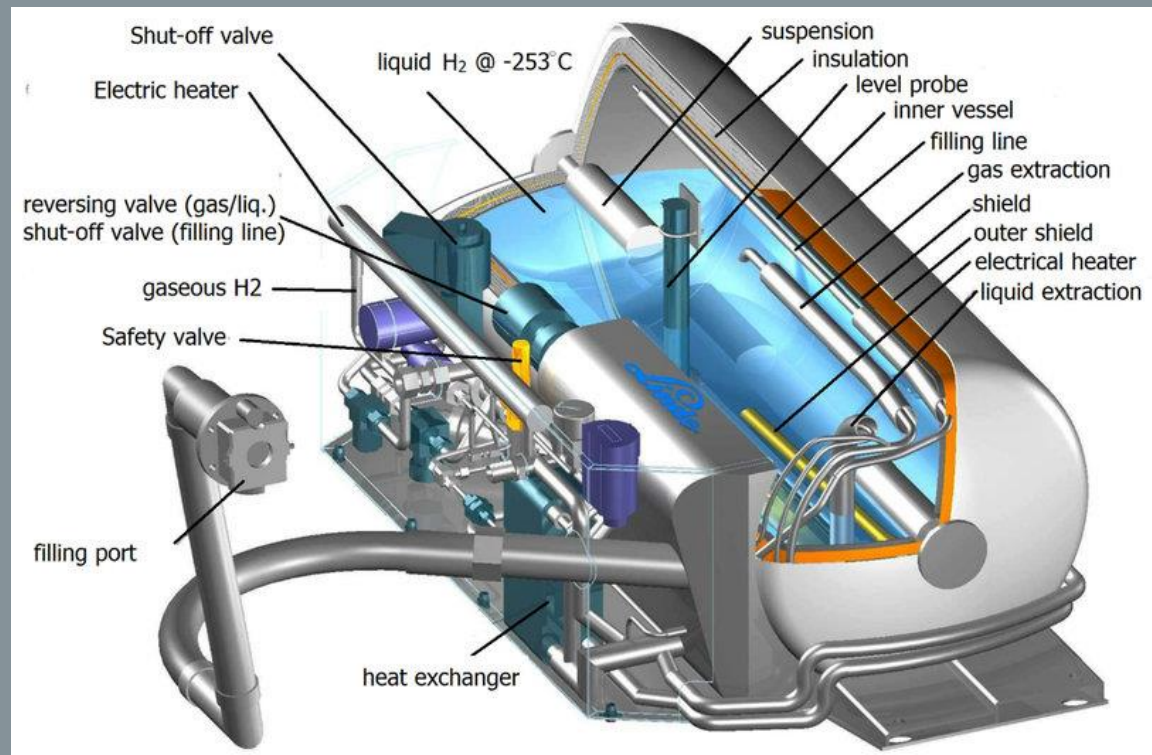
- Necesidad de disponer de materiales fiables y duraderos a 20 Kelvin en presencia de H₂
- Los aislamientos de alto vacío se pueden perder de forma súbita dando lugar a un aumento rápido de presión.
- Dificultad de la compartimentación de un tanque interior presurizado a 20 Kelvin

CRIOCOMPRESIONADO (CcH₂):

- Incrementa los requisitos de alta presión sobre el tanque criogénico del LH₂
- La combinación de ciclos de alta presión (300 Bar) junto con las condiciones criogénicas del tanque interior y la necesidad de mantener el alto vacío no son compatibles con tanques ligeros de larga duración

Solución actual para el almacenamiento de LH2

- El aislamiento por alto vacío implica un tanque exterior dimensionado por Resistencia al pandeo por compresión y con necesidad de impermeabilidad para conservar el aislamiento, lo que hace la integración de la estructura del avión como parte del tanque impracticable.
- El tanque interior combina la exposición al H₂ a 20 Kelvin con tener que sufrir a ciclos de presurización manteniendo una impermeabilidad que conserve el alto vacío.



Source: Linde

La oportunidad

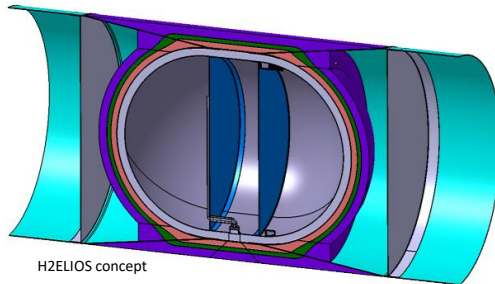
¡Los aviones se repostan una o más veces al día!

Por lo tanto, en aviación no tiene sentido buscar soluciones que permitan tiempos de espera por encima de 24h entre el repostaje y el despegue.

La solución propuesta por Aciturri en Overleaf (TRL3) y H₂ELIOS (TRL5):

Tanque de hidrógeno líquido integral:

- El fuselaje y el mamparo de presión forman parte del tanque exterior
- No se utiliza alto vacío en el aislamiento.
- No se produce ningún venteo de H₂ fuera del tanque en operación normal.
- Compatible con uso de H₂ en forma líquida o gaseosa.



Estándar vs Overleaf/H₂ELIOS

- Longitud necesaria en fuselaje de 4m de diámetro para 5.3Tm de H₂: **14.42m (34% más largo)**
- Tanque interior sometido a ciclos de presión a 20 Kelvin: **Sí**
- Impermeabilidad al gas de H₂ del tanque interior: **Sí**
- Libertad de forma del tanque interior sin penalizar peso: **No, requiere forma de membrana.**
- Tanque exterior sometido a cargas de aplastamiento: **Sí**
- Tanque exterior impermeable para mantener alto vacío: **Sí**
- Compartimentación sin crear zonas de concentración de esfuerzos: **No**
- Longitud necesaria en fuselaje de 4m de diámetro para 5.3Tm de H₂: **10.75m**
- Tanque interior sometido a ciclos de presión a 20 Kelvin: **No**
- Impermeabilidad al gas de H₂ del tanque interior: **No, solo estanqueidad al líquido**
- Libertad de forma del tanque interior sin penalizar peso: **Sí**
- Tanque exterior sometido a cargas de aplastamiento: **No**
- Tanque exterior impermeable para mantener alto vacío: **No, solo niveles de estanqueidad asociados a seguridad por fugas.**
- Compartimentación sin crear zonas de concentración de esfuerzos : **Sí**

Estándar vs Overleaf

Comparación del paso de un tanque Dewar y Overleaf entre los 20.3 Kelvin y los 27.5 Kelvin con tanque interior de 2.56m³ y 154 Kg de H₂:

	Dewar concept		Overleaf	
Temperatura	20.3 K	27.5 K	20.3 K	27.5 K
Densidad del LH ₂ (Kg/m ³)	70	60.35	70	60.35
Presurización tanque interior criogénico	1.0 Bar	5.2 Bar	0.0 Bar	0.0 Bar
Variación de H ₂ gas en el tanque	-0.42 Kg		+3.22 Kg	
Necesidad de venteo en esta transición.	Sí		No	

> 50%

Índice gravimétrico

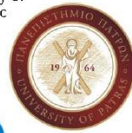
A partir de 1000 kg LH₂



Collaboration, Advisors and Projects



AIRBUS



T(H₂)ANK YOU

—



ACITURRI

Back-up: CGH2 gravimetric limitation

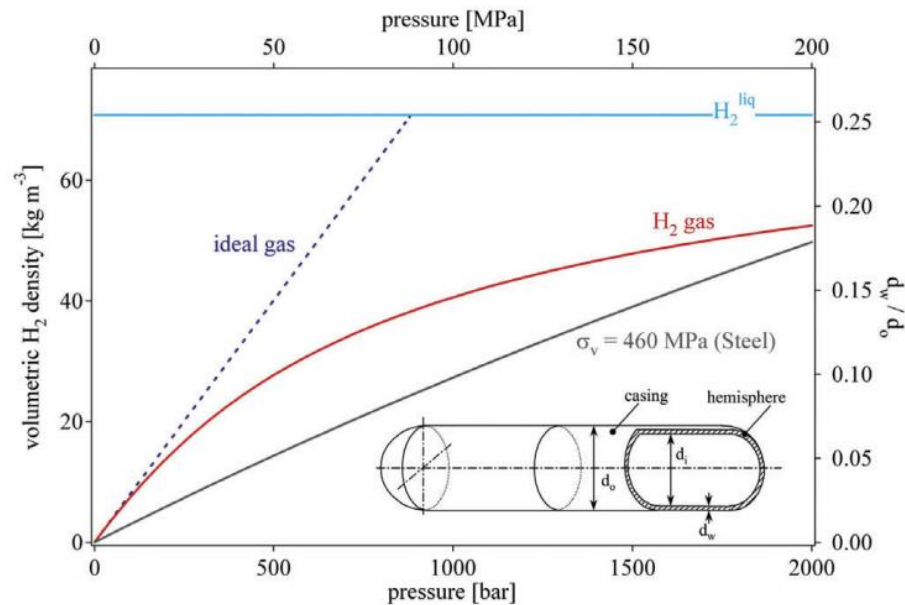


Fig. 2 Volumetric density of compressed hydrogen gas as a function of gas pressure, including the ideal gas and liquid hydrogen. The ratio of the wall thickness to the outer diameter of the pressure cylinder is shown on the right hand side for steel with a tensile strength of 460 MPa. A schematic drawing of the pressure cylinder is shown as an inset.