

El quinto método de transporte: la visión de Zeleros sobre Hyperloop

The fifth mode of transport: Zeleros' vision of hyperloop

Daniel Orient¹, David Pistoni¹, Juan Vicen¹, Sergio Hoyas²

Resumen

El objetivo de Zeleros, una pyme española, es desarrollar el quinto medio de transporte: el Hyperloop. Básicamente, el Hyperloop consiste en una cápsula, el pod, que viaja a una velocidad transónica, hasta 0,8 Mach, dentro de un tubo a presión reducida. Este método une las ventajas de los aviones (velocidad) y los trenes (propulsión eléctrica). Tecnologías recientes como la posibilidad de hacer vacío en túneles de grandes dimensiones (como en el CERN), así como los avances en la electrónica de alta frecuencia y el desarrollo de materiales más ligeros, podrían convertir el Hyperloop en realidad. Además, la posibilidad de cubrir el tubo con células solares podría convertir al Hyperloop en el primer medio de transporte con un ciclo de carbono negativo. Sin embargo, muchos desafíos aún están por resolver. Por ejemplo, nunca se ha estudiado la aerodinámica de una cápsula que viaja a una velocidad transónica dentro de un tubo de 500 km. En este artículo se presenta la idea de Zeleros sobre el Hyperloop y los pasos dados para convertirlo en realidad.

Palabras clave

Transporte, sistema HL (Hyperloop), alta velocidad, cambio climático, levitación magnética, estandarización, tubo evacuado, mercancías, logística, aeroespacial, ferrocarril.

Abstract

The purpose of Zeleros, a Spanish SME is to develop the fifth mean of transport: the Hyperloop. Basically, the Hyperloop consist of a capsule, the pod, travelling at transonic velocity, up to 0.8 Mach, inside a pressure reduced tube. This method joins the advantages of airplanes (speed), and trains (electric powered). Recent technologies as the possibility of vacuuming large dimensions (as in CERN), as well as the advances in high frequency electronics and the development of lighter materials, might turned Hyperloop into reality. Moreover, the possibility of covering the tube with solar cells might turn Hyperloop the first means of transport with a negative carbon cycle. However, many challenges are still beyond us. For example, the aerodynamics of a capsule travelling at transonic speed through a 500-km tube has never been studied. In this article we will present Zeleros' idea about hyperloop and the steps given to turn Hyperloop into reality.

Keywords

Transportation, HL (Hyperloop) system, high-speed, climate change, magnetic levitation, standardisation, evacuated tube, cargo, logistics, aerospace, railway.

Recibido / received: 19/02/2019. Aceptado / accepted: 20/02/2019.

¹Zeleros Global SL, Muelle de la Aduana, Edificio Lanzadera, 46024 Valencia. info@zeleros.com, www.zeleros.com.

²Grupo de Ingeniería Aeroespacial, Universitat Politècnica de València

Sergio.hoyas@mot.upv.es

Autor para correspondencia / corresponding author: Juan Vicen, info@zeleros.com



1. Introducción

En las próximas décadas, la humanidad afrontará la amenaza más importante durante su corta historia. Las evidencias acumuladas sugieren que no nos estamos enfrentando un calentamiento global, sino un cambio climático de consecuencias impredecibles. El último informe del panel intergubernamental sobre cambio climático¹ presenta diferentes escenarios, y el más optimista es un cambio relativamente moderado de 2 grados centígrados. Sin embargo, algunos modelos predicen que la Tierra se calentará entre 2 y 6 grados centígrados en este siglo. Cuando el calentamiento global ha ocurrido en varias ocasiones en los últimos dos millones de años, el planeta tardó unos 5.000 años en calentarse 5 grados. Por tanto, esta tasa de cambio es extremadamente inusual y peligrosa, ya que solo 5 grados separan el clima ideal de hoy de las dramáticas condiciones de la última Edad de Hielo. Se requieren acciones inmediatas y reducir la huella energética de los modos de transporte es una cuestión de la máxima importancia. Por ejemplo, en el caso del transporte aéreo, se utilizaron 360.000 millones de litros de combustible en 2017 en todo el mundo

(según la IATA²). Además, el consumo de combustible está aumentando a una tasa insostenible del 3,5% anual. Se espera que antes del año 2022 se alcance un triste hito: solo los vuelos comerciales emitirán 1.000 millones de toneladas de CO₂. La situación en Europa es igualmente pesimista. En el informe de EASA y la Agencia Europea de Medio Ambiente³, se afirma que las emisiones de CO₂ han aumentado en, aproximadamente, el 80% entre 1990 y 2014. Se prevé que crezcan el 45% más entre 2014 y 2035. Parece claro que estos datos van en la dirección contraria al Acuerdo de París sobre cambio climático. Aparte de esto, el transporte aéreo es en este momento la única forma viable de comunicar las principales ciudades europeas. Una crisis como la causada en 2010 debido a las erupciones del volcán de Islandia Eyjafjallajökull recuerda cuán vulnerable somos al transporte aéreo. Obviamente, el método de transporte más utilizado es el tráfico por carretera. Por razones múltiples y bien conocidas, no es la respuesta a los problemas comentados anteriormente. Los trenes de alta velocidad (HST) podrían ser parte de la solución. Sin embargo, incluso considerando que para viajes que

duran menos de 4 horas y media, el HST puede ser tan competitivo como un avión, la expansión del HST está limitada por su mantenimiento, que es extremadamente costoso⁴. El cuarto medio de transporte, las vías navegables, es extremadamente competitivo, pero, por supuesto, lento y solo llega a lugares bañados por el agua. La solución a este problema podría provenir de un actor inesperado, que proponemos como el quinto método de transporte: El Hyperloop.

La idea detrás del Hyperloop es extremadamente simple: si reducimos la presión dentro de un tubo largo, podemos reducir en gran medida la resistencia de cualquier objeto que se mueva a través del tubo. La idea tampoco es nueva. Se remonta a principios del siglo XVII, con la invención del sistema de vacío. George Medhurst desarrolló el primer sistema de vacío como sistema de transporte en 1844. Construyó una estación de ferrocarril (para vagones de pasajeros) en Londres que funcionó hasta 1847 que se basaba en gradientes de presión para mover los vehículos. Se construyeron más sistemas como este en los años siguientes en Londres y luego en Nueva York. Además, todavía se utilizan para mover mercancías

en bancos, hospitales y oficinas postales. Incluso Julio Verne imaginó esta tecnología en su novela *Paris au XXe siècle*. Y, por supuesto, surge en imágenes como la de la figura 2. Este parecía ser el lugar del Hyperloop en la historia, un sistema de transporte en una novela de ciencia ficción o una simple curiosidad, superado por los trenes, los coches y, finalmente, los aviones. Sin embargo, Hyperloop vuelve a la ingeniería en 2012 cuando Elon Musk propone el concepto en televisión⁵ y lo llama “Hyperloop”. Un año más tarde, Musk propone un concepto de este medio de transporte en una publicación científica abierta⁶ (*Whitepaper*), que usa la levitación por cojinetes de aire (por repulsión a la superficie), y no magnética como los trenes chinos y japoneses. Además, anima a que otras empresas lo desarrollen, pues está muy ocupado con sus proyectos (exploración espacial, Tesla). A su llamada, surgen dos empresas americanas que comienzan a desarrollar propuestas para este sistema.

En 2015, Musk lanza un concurso universitario con su empresa SpaceX⁷ en el que anima a estudiantes de todo el mundo a participar proponiendo nuevas ideas. La idea es hacer el concurso de forma anual y que sirva para motivar el desarrollo de soluciones innovadoras, así como reclutar a los mejores estudiantes. No obstante, las reglas son estrictas para acceder a dichas empresas por sus conexiones con proyectos estratégicos de Estados Unidos, donde se reserva la contratación solo a habitantes estadounidenses.

Una ciencia nueva

Como hemos dicho, el Hyperloop volvió a la ciencia en 2015. Una búsqueda en la base de datos científica *Scopus* solo da 58 documentos que contienen el término “hyperloop”. Ninguno de ellos, por ejemplo, contiene un estudio serio y confiable de la aerodinámica de la cápsula o de la termodinámica dentro del tubo. Aparte de esto, la NASA ha publicado tres informes⁸⁻⁹⁻¹⁰ sobre la viabilidad del Hyperloop como transporte de masas. Usando algunas librerías de Python y herramientas de dinámica de fluidos computacional (CFD), los autores llegan a algunas conclusiones sobre su viabilidad. En estos trabajos, por ejemplo, los autores presentan un primer estudio sobre la



Figura 2. March of intellect, By William Heath, de 1820 que muestra el Hyperloop como uno de los nuevos transportes. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=34607485>.

relación entre la presión del tubo y la resistencia de la vaina. Esta presión es de alrededor de 25 kPa, que es aproximadamente la presión del aire a 10 km de altura. Por razones de seguridad, esta presión también es deseable en caso de descompresión repentina, ya que los pasajeros pueden respirar con máscaras. Las presiones por debajo de este nivel son por una parte peligrosas (a 7 kPa de presión el agua hierve a temperatura ambiente) y extremadamente caras de obtener por otra. Nos gustaría resaltar que el punto más importante de estos trabajos es que el Hyperloop es plausible y puede ofrecer transporte de alta calidad a tarifas relativamente bajas.

Una segunda búsqueda, más detallada, sobre la aerodinámica de la cápsula no dio resultados serios. Incluso si en el caso de HST, su comportamiento dentro de los túneles se comprende más o menos, el enfoque de la investigación en HST es muy diferente al del Hyperloop. De manera similar, mientras que el problema termodinámico de un pistón que se mueve en un tubo es un problema clásico de los estudios de ingeniería mecánica, la bibliografía tiende a cero cuando el tubo tiene 400 km de largo y el pistón viaja a 800 km/h y deja un pequeño espacio con el tubo.

Es fácil llegar a la conclusión de que la termodinámica del sistema pod-tubo no se comprende bien, como poco.

La situación no mejora en el caso de la aerodinámica. Para dar un ejemplo, algunos experimentos numéricos realizados por Zeleros muestran que la presión aguas por encima de la cápsula podría aumentar en algunas circunstancias. Esto crearía un flujo mixto de Poiseuille (impulsado por presión) - Couette (cortante) entre el pod y el tubo. Este flujo se ha estudiado cuando las dos fuerzas impulsadas actúan en la misma dirección en dominios muy simplificados, pero nunca lo ha sido en el caso de fuerzas en contradirección, y menos aún en coordenadas cilíndricas.

Por otro lado, desde Zeleros se considera que el conocimiento sobre el sistema de vacío, electromagnetismo, compresor y sistema de turbina y batería está lo suficientemente avanzado para Hyperloop. De hecho, Zeleros posee un gran conocimiento sobre todos estos sistemas.

El estudio teórico del Hyperloop está, pues, avalado en principio por la NASA, y desde la Universitat Politècnica de València se ha impulsado junto con Zeleros la petición de un proyecto europeo FET-RIA para comprender mejor la aerodinámica del sistema. Creemos firmemente que el Hyperloop puede mejorar enormemente el sistema de transporte en Europa y reducir la huella de carbono del transporte en Europa. También disminuye la importación de petróleo. Como hemos dicho, la superficie externa del



Figura 3. El equipo vencedor de la primera competición de Hyperloop. Mientras que dos de los miembros del equipo se integran en distintas empresas, los tres restantes crean la empresa Zeleros en noviembre de 2016 con el objetivo de explotar comercialmente el Hyperloop. Además, deciden potenciar el grupo Hyperloop UPV, haciendo una llamada a nuevos miembros para preparar las siguientes competiciones.



Figura 4. Juan Vicén, David Pistoni y Daniel Orient, fundadores de Zeleros.



Figura 5. Primer prototipo español de Hyperloop, el Atlantic, julio de 2017.

tubo está hecha de células fotovoltaicas. Las estimaciones realizadas por Zeleros y otras empresas relacionadas con Hyperloop estiman el coste del vacío parcial en 1.44MWh/km. El coste operacional del diseño de la solución de Zeleros se ha estimado en 1,80 MWh/km para 500 pods diarios. Suponiendo una baja eficiencia de las celdas, el 20% o 200 Wh/m², es posible obtener hasta 4 MWh/km. Así, el equilibrio energético del Hyperloop sería positivo, produciendo más energía de la que gastaría. Para citar solo un último ejemplo, dos millones de pasajeros viajan de París a Berlín cada año. Energéticamente, eso supone 2 M gigajulios por año o aproximadamente 150 millones de toneladas de CO₂ evitadas. La situación es similar para el transporte de carga, ya que la capacidad del Hyperloop podría eliminar de las carreteras europeas 500 camiones de contenedores de 20 pies (5 km de camiones) por línea diariamente.

Zeleros y el Hyperloop

En agosto de 2015, se crea Hyperloop UPV, un equipo de cinco estudiantes y un profesor tutor de la Universitat Politècnica de València, para participar en la competición de Elon Musk. Este equipo comprende a los ingenieros aeronáuticos Daniel Orient, Germán Torres y Ángel Benedicto y a los industriales David Pistoni y Juan Vicén, acompañados por el profesor Vicente Dolz, experto en mecánica de fluidos y miembro del instituto CMT-Motores Térmicos de la UPV (Figs. 3 y 4). El grupo se crea dentro de la iniciativa *makers* de la UPV¹¹. En enero de 2016, Hyperloop UPV consigue el Premio a Mejor Diseño y Mejor Sistema de Propulsión¹² en la competición y alcanza repercusión internacional, y sobre todo nacional, al ser el único equipo español que consiguió un premio en la competición. Esto atrae a numerosas empresas y organizaciones que plantean seguir desarrollando el proyecto industrialmente, entre ellas Nagares (actualmente Mahle) y Altran.

Durante esa temporada y hasta la actualidad, Zeleros se ha comprometido a apoyar al equipo universitario como mentores del proyecto, cosa que derivaría en el primer prototipo de Hyperloop español (el Atlantic II), y a montar el primer tubo de pruebas en España para realizar pruebas en está-



Figura 6. Segundo prototipo español de Hyperloop, el Valentia, agosto de 2018.



Junta asesora.

tico. Con una longitud de 12 metros y situado en la UPV. Esto marca un antes y un después en el desarrollo del proyecto. Actualmente ya han abierto su llamada para fabricar su tercer prototipo, tras su éxito presentando el segundo (apodado *Valentia*) en Los Ángeles, California (Figs. 5 y 6).

Propuesta diferencial de Zeleros

La propuesta de Zeleros se diferencia de los otros sistemas propuestos de Hyperloop, pues es un sistema que tiene la mayor parte de tecnologías integradas en el vehículo. Esto incluye, por ejemplo, el sistema de levitación situado en la parte superior del pod y un compresor alimentado por baterías que permite absorber todo el aire delante del pod. De esta forma, los costes de infraestructura (construcción, operación, mantenimiento), que aumentan por cada kilómetro de ruta, se ven reducidos radicalmente. Zeleros aprende pues de las lecciones del MAGLEV chino y japonés para aprovechar todo el potencial que permite la unión entre un tren y un avión: alta velo-

cidad (hasta 1.000 km/h) para conectar ciudades o centros logísticos situados a longitudes a partir de unos 500 kilómetros en poco más de media hora.

La estrategia de Zeleros es la colaboración empresarial para acelerar el desarrollo del proyecto. Por eso colabora con empresas como Renfe y Altran y centros de investigación (UPV, UPM, ITE, IMDEA Nanociencia), organismos europeos (Climate-KIC) y nacionales, inversores internacionales (Plug and Play [fondo de inversión de Silicon Valley]) y locales como Angels Capital (fondo del empresario valenciano Juan Roig) y consultores expertos en las diferentes partes del proyecto. A este ecosistema colaborativo se ha sumado el reconocimiento a la empresa con diversos premios nacionales e internacionales (Fundación Everis, VLCStartup Award, Investors Day e IdeasUPV).

Esta estrategia colaborativa apunta también a Europa, donde Zeleros recientemente ha firmado un pacto¹³ en Bruselas con 4 de las 6 empresas en el mundo (europeas y canadienses)

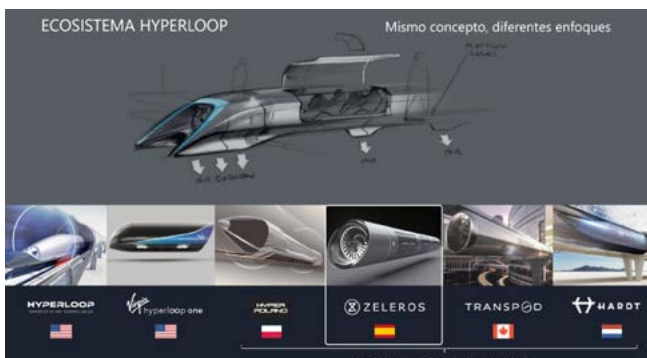
que desarrollan sistemas completos de Hyperloop para trabajar junto con las instituciones en estandarización de los sistemas, reduciendo las ineficiencias en el proceso de desarrollo. La comisión ya ha aceptado la propuesta y ha invitado a los Ministerios de Fomento a que se unan al grupo de trabajo europeo, y los ministerios de los diferentes países con los que tenemos el contrato ya han apoyado oficialmente a sus iniciativas estatales. En nuestro caso, necesitaríamos el mismo apoyo por parte del Ministerio de Fomento para participar en un proceso que hemos generado de forma colaborativa.

También se han establecido lazos con centros de investigación internacionales gracias a su participación en la cumbre MAGLEV en San Petersburgo (Rusia), celebrada en septiembre de 2018. En este aspecto, también se han realizado reuniones con el ministro de Ciencia, Pedro Duque, para conseguir el apoyo para el fomento de la iniciativa en España y Europa¹⁴. El presidente del Gobierno, Pedro Sánchez, valoró¹⁵ de forma positiva la iniciativa.

Próximos pasos

El próximo objetivo de Zeleros es integrar sus tecnologías en un vehículo que será probado a finales de 2019 en una pista de pruebas a escala que será construida en el parque industrial Parc Sagunt, como anunció hace unos meses el presidente de la Generalitat, Ximo Puig¹⁶. Esto servirá para demostrar la eficiencia y funcionamiento del sistema de altas velocidades. El equipo cuenta para ello con el apoyo de la Generalitat Valenciana y del Ayuntamiento de Sagunto y ya está en fase avanzada respecto a los trámites.

El siguiente objetivo es pasar del prototipo a escala mediana a un prototipo a escala real. Esta pista de pruebas requiere de mayores longitudes, diámetros y, por tanto, inversión. Para este objetivo el equipo ya está también en marcha y piensa colaborar con las diferentes empresas de Hyperloop con las que tiene el acuerdo para proponer a Europa un espacio de pruebas común (al estilo del CERN en Suiza), que minimice las necesidades de inversión. Por la posible repercusión y como país líder en alta velocidad, Zeleros piensa que, para esta segunda fase, de forma estratégica en España debería realizar una propuesta de localización posible (como ya están



haciendo los demás países), y para esto se está trabajando con las instituciones.

En paralelo, Zeleros necesita de una coordinación con el Ministerio de Ciencia en España (aunque posteriormente deberían involucrarse Fomento, Industria, Transición Energética y Defensa) para dar una imagen afianzada y segura en las reuniones que se lleven a cabo con la Comisión Europea. Para ello, propone crear un grupo de trabajo de Hyperloop a nivel estatal en el que estén involucrados todos los ministerios pertinentes.

Mientras tanto, desde Zeleros seguimos trabajando, en la actualidad alrededor de 68 personas están involucradas en este proyecto con ADN español que está llamado a revolucionar la forma en que nos transportamos.

También tenemos una ronda de inversión abierta que nos permitirá seguir desarrollando el vehículo para el proyecto piloto y seguimos sumando socios. Desde Zeleros, animamos a más empresas e instituciones a formar parte de esta iniciativa y a construir juntos el futuro del transporte.

Notas

- 1 <https://www.ipcc.ch/>, accessed in 27/09/2018.
- 2 https://www.iata.org/pressroom/facts_figures/fact_sheets/Documents/fact-sheet-industry-facts.pdf
- 3 <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/european-aviation-environmental-report-2016-72dpi.pdf>
- 4 https://w3.grupobbva.com/TLFU/dat/inf_web_economic_analysis.pdf
- 5 <https://www.youtube.com/watch?v=uegOUmgKB4E>
- 6 https://www.spacex.com/sites/spacex/files/hyperloop_alpha-20130812.pdf

- 7 <https://spacex.com/hyperloop>
- 8 C. Taylor et al, DOT-VNTSC-NASA-16-01
- 9 Conceptual Feasibility Study of the hyperloop Vehicle for Next-Generation Transport. NASA, submitted to AIAA
- 10 Open-Source Conceptual Sizing Models for the hyperloop Passenger Pod. NASA, submitted to AIAA
- 11 <http://makersupv.com/>
- 12 <http://www.elmundo.es/tecnologia/2016/02/04/56b345f4e2704ec73f8b45bf.html>
- 13 <http://www.climatekic-spain.org/empresas-canadienses-y-europeas-de-hyperloop-se-alian-para-establecer-un-marco-de-estandares-y-regulacion-internacional/>
- 14 <https://www.diariodenavarra.es/noticias/negocios/economia/2018/08/13/pedro-sanchez-celebra-proyecto-tren-supersonico-605532-1033.html>
- 15 <https://twitter.com/sanchezcastejon/status/1028994052262453248>
- 16 <https://valenciaplaza.com/la-empresa-valenciana-de-hyperloop-zeleros-tendra-su-pista-de-pruebas-en-parc-sagunt>