

“Diseño conceptual de un sistema MagLev a pequeña escala”

Barone, Marcelo ^{a; b}; Nagle, Gustavo ^a

a: Grupo de investigación en Levitación Magnética - Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo.

b: INTECIN (FIUBA-CONICET)

e-mail: mbarone@frh.utn.edu.ar

Resumen

La necesidad de incrementar la capacidad del transporte, en particular mejorar la eficiencia energética y su impacto en el medio ambiente global, ha promovido hacer avances en la tecnología *MagLev*. La misma, se propone como una alternativa sostenible y más limpia. Dado que es un sistema electrificado, lo hace compatible con el uso de recursos energéticos renovables, aportando sustentabilidad al sistema. Como nuevo tipo de tecnología de transporte, los trenes *MagLev* han mostrado algunas ventajas adicionales a saber: bajo nivel de ruido, buena capacidad en pendientes, pequeños radios de giro, entre otras, lo que los hace adecuados para uso urbano de transporte tanto en velocidades medias como altas. El tren de levitación magnética utiliza fuerzas producidas por campos magnéticos para suspender, guiar e impulsar el vehículo sobre la vía. En este trabajo, se propone un diseño conceptual de un sistema *MagLev* en una pequeña escala para utilización experimental, en dicho diseño, la levitación se consigue creando un campo magnético entre el tren y la pista usando imanes montados en la parte superior de la pista y en la parte inferior del vehículo. Finalmente, se propone una configuración novedosa con un sistema de suspensión híbrido, que combina bobinas electromagnéticas con imanes permanentes, para aumentar la fuerza de suspensión, colaborando con el rendimiento y la disminución de pérdidas de potencia. El presente trabajo se propone como puntapié para dar inicio al desarrollo de la tecnología *MagLev* en nuestro país.

Palabras clave: Levitación magnética, transporte, tren, *MagLev*.

Abstract

The need to increase transportation capacity, particularly improving energy efficiency and its impact on the global environment, has promoted advancements in *MagLev* technology. It is proposed as a sustainable and cleaner alternative. Since it is an electrified system, it makes it compatible with the use of renewable energy resources, providing sustainability to the system. As a new type of transportation technology, *MagLev* trains have shown some additional advantages, namely: low noise level, good slope capacity, small turning radius, among others, which makes them suitable for urban transportation use at both high and low speeds. The magnetic levitation train uses forces produced by magnetic fields to suspend, guide and propel the vehicle on the track. In this work, a conceptual design of a *MagLev* system is proposed on a small scale for experimental use. In this design, levitation is achieved by creating a magnetic field between the train and the track using magnets mounted on the top of the track and at the bottom of the vehicle. Finally, a novel configuration is proposed with a hybrid suspension system, which combines electromagnetic coils with permanent magnets, to increase the suspension force, collaborating with performance and reducing power losses. This work is proposed as a kickoff to begin the development of *MagLev* technology in our country.

Key Words: Magnetic levitation, transportation, train, *MagLev*.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de transporte mundiales operan a niveles críticos y se ha degradado el medio ambiente [1]. El transporte automotor incide un 35% en la matriz global de transporte. Además, genera el 73% de las emisiones de CO₂ del transporte y consume el 75% del total de la energía utilizada en transporte [2]. Por su parte, los ferrocarriles, en todo el mundo satisfacen el 60% de su demanda de energía con derivados de fósiles [2]. Esto plantea la necesidad de la electrificación de los ferrocarriles, y también mejorar su desempeño tecnológico. El transporte de Levitación Magnética (*MagLev*) es un sistema electrificado, pudiendo utilizar recursos renovables [3; 4]. Las redes ferroviarias de alta velocidad (HSR), alcanzan a operar a velocidades del orden de 300 a 350 km h⁻¹ [5, 6]. Mientras que los trenes *MagLev* han logrado performances de hasta 600 km h⁻¹ [7], con un récord Guinness de 602 km h⁻¹, (SCMAGLEV – Japón) [8]. Los trenes *MagLev* comenzaron a probarse en 1977 en Miyazaki (Japón). Se probaron, el ML-500 llegó a 517 km h⁻¹, guía c/sección transversal T invertida ('1979). Luego, la guía se cambió al tipo U, MLU001 y se logró una velocidad de 405 km h⁻¹ ('1987). Después se hicieron pruebas con un prototipo MLU002 ('1987) [9]. En 1979 comenzó funcionar el primer tren *MagLev* aprobado para pasajeros, el Transrapid 05; en la exhibición internacional de transporte en Hamburgo [10]. Transportó a más de 50.000 personas. En el presente se encuentran funcionando trenes *MagLev* con velocidades desde 40 a 430 km h⁻¹ en Inglaterra, Alemania, China, Japón y Korea del Sur [11].

OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es estudiar y elaborar un desarrollo conceptual de la tecnología *MagLev* y proponer un modelo *MagLev* a pequeña escala. Dicho modelo pretende ser el puntapié de próximos proyectos de investigación, con eje en su construcción.

DESARROLLO

En 2001, R. Post del LLN Laboratory publicó el *MagLev-Inductrack*. Es un EDS que reemplaza los materiales superconductores por imanes permanentes (PM-EDS), funciona a temperatura ambiente [12], *Figura 1*. Los imanes permanentes (PM) se disponen en matriz Halbach, este ordenamiento consta de PM colocados de manera que el campo magnético de cada

PM esté orientado con el PM adyacente. Esta disposición produce un campo magnético sinusoidal en el lado inferior de la matriz, mientras lo cancela completamente en el lado superior. Al no utilizar imanes superconductores, se evitan los sistemas de enfriamiento criogénico [13, 14].

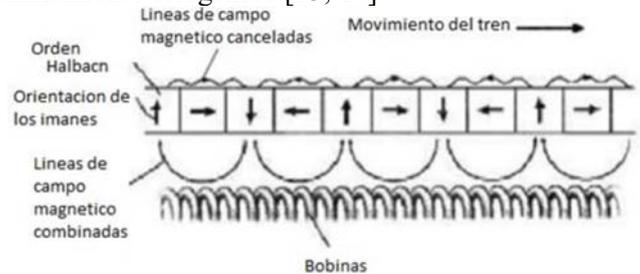


Figura 1: Ordenamiento Halbach

En esta etapa del diseño de nuestro modelo *MagLev*, se hará foco en la mecánica del mismo. Los detalles del sistema de control serán presentados en futuros trabajos. El sistema PM-EDS se incluye en el motor lineal, el conjunto que muestra la disposición de los electroimanes [15], y el diseño del vehículo y la pista se ilustra en la *Figura 2*.

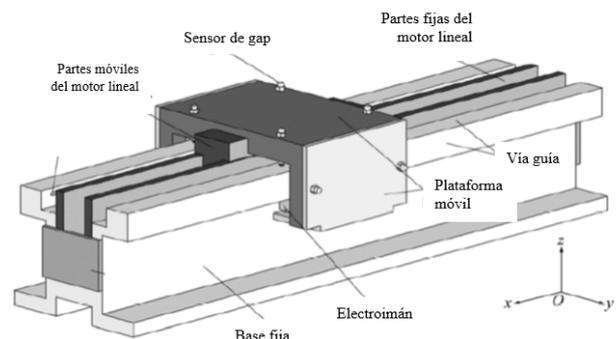


Figura 2: Boceto del sistema *MagLev* propuesto

Los imanes harán levitar el vehículo ≈ 4 mm por sobre la vía guía. Las guías laterales están situadas a ambos lados del vehículo, en toda su longitud. Además, estos imanes están montados de manera que proporcionen un mecanismo de repulsión apropiado. En la *Figura 3* se puede observar que en el sistema hay 12 actuadores electromagnéticos (electroimán par 1, electroimán par 2, etc). Se ubican simétricamente sobre la plataforma móvil. Usando como ejemplo electroimán par 1, la parte superior del mismo genera fuerza para empujar hacia abajo la plataforma, mientras que la inferior la empuja hacia arriba. La diferencia de fuerza magnética se utiliza para compensar la masa de la plataforma. El modo diferencial tiene como ventaja la mayor robustez y estabilidad del sistema [16].

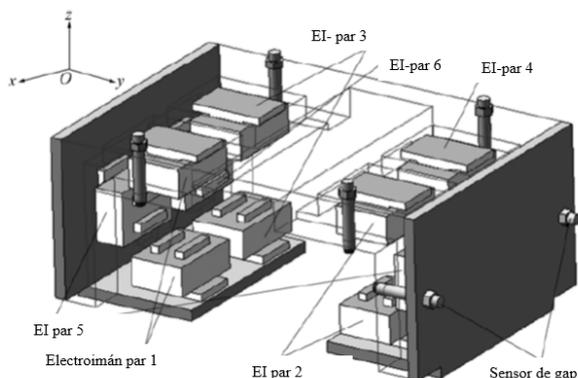


Figura 3: Detalle interior de la plataforma móvil

Se suponen cuerpos rígidos ideales, \therefore la plataforma móvil es indeformable. Existen seis grados de libertad (DOF), tres desplazamientos y tres rotaciones. El desplazamiento en el eje x se vincula con el movimiento del motor lineal. Entonces, hay cinco DOF que intervienen en el mecanismo de levitación. Son los desplazamientos en las direcciones y y z , y las rotaciones α , β y γ alrededor de los ejes x , y y z . La fuerza F de suspensión magnética [17] de un electroimán se expresa como:

$$F = \frac{A \cdot N^2 \cdot \mu_0}{4} \cdot \left(\frac{i}{c}\right)^2 \quad (1)$$

Donde i es la corriente que circula por la bobina; c es la distancia (gap) entre el electroimán y la guía de hierro; A es la sección del electroimán; N es el número de espiras de la bobina del electroimán; μ_0 la permeabilidad magnética en el aire.

RESULTADOS

En el presente diseño conceptual, considerando la ecuación (1) se aprecia que la disminución del gap favorece el intercambio magnético [18]. Los cálculos preliminares realizados para un imán con: $A=100 \text{ mm}^2$, $N=30$; $i=30 \text{ A}$ indican que para un gap límite de 4 mm F será 1.6 N. Mientras que para un gap de 2 mm F será 6.4 N. Las dimensiones preliminares del modelo a pequeña escala de la plataforma móvil serán 150x150x150 mm, mientras que la longitud de la base fija se prevé en 3000 mm, \therefore las fuerzas producidas por los campos magnéticos, alcanzarán los requisitos para lograr la levitación.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este trabajo se propone un sistema *MagLev* de pequeñas dimensiones con la finalidad de dar comienzo

a ensayos experimentales. El modelo propuesto proporciona un pequeño rango de recorrido y elevados niveles de precisión en el movimiento, considerando que tiene rigidez estructural y fuerza suficiente. Además, el modelo presentado es factible de fabricar. En futuros trabajos se abordará el modelado de los campos magnéticos y se dará detalle de los circuitos de control intervinientes.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Passenger Department (2018) UIC. International Union of Railways. uic.org/IMG/pdf/brochure_passagers.pdf
- [2] Railway Handbook (2017) Energy consumption and CO2 emissions focus on passenger rail services. IEA and IUR. uic.org/IMG/pdf/handbook_iea-uic_2017_web3.pdf
- [3] M. Barone, S. González, D. Vilella; Introducción a los sistemas de Levitación Magnética para ferrocarriles. 1er congreso sobre medios de transporte y sus tecnologías asociadas UTN FRH ('2018).
- [4] Passenger Department 2018 High speed rail fast track to sustainable mobility (UIC) uic.org/IMG/pdf/uic_high_speed_2018_ph08_web.pdf
- [5] M. Leboeuf High Speed Rail (2018) - FAST TRACK TO SUSTAINABLE MOBILITY UIC Passenger Department, ISBN 978-2-7461-2700. uic.org/#highspeed.
- [6] Lawrence, Martha, R. Bullock, and Z. Liu. 2019. China's High-Speed Rail Development. International Development in Focus. Washington, DC: World Bank. doi:10.1596/978-1-4648-1425-9.CC BY 3.0 IGO
- [7] China Railway Rolling Stock Corporation, www.crrcgc.com
- [8] Central Japan Railway Co. <https://scmaglev.jr-central-global.com/future/>
- [9] Hiroshi TAKEDA. JAPANESE SUPERCONDUCTING MAGLEV: PRESENT STATE AND FUTURE PERSPECTIVE. Magnetic Levitation System Development and Promotion Division, Railway Technical Research Institute, Hikaricho 2-S-38, Kokubunji, Tokyo 185, Japan. Physica B 164 (1990) 229-235.
- [10] Lloyd J. Money. The saga of Maglev (1984). Transp. Res. Part A Vol 18A N° 4 pp 333 – 341.
- [11] M. Barone, CADI/CLADI CAEDI. FIUBA ('2021).
- [12] R. Post and D. Ryutov. The Inductrack: A Simpler Approach to Magnetic Levitation. Work performed under the auspices of the U. S. Department of Energy by the Lawrence Livermore National Laboratory under Contract W-7405-ENG-48.
- [13] Uzuka T (2013) Faster than a speeding bullet: an overview of Japanese high-speed rail technology and electrification. IEEE Electrification Mag 1(1):11–20
- [14] S. Haas, O. Verges, P. Beyer, C. Rohlig, S. Olsen, H. Kuhn, L. Berger, D. Noteboom. U. Funk U (2005) Superconductively levitated transport system: Supra Trans project. IEEE Trans Appl Supercond 15(2):2301–2305
- [15] ZHOU Hai-bo, DUAN Ji-an. Levitation mechanism modelling for maglev transportation system. J. Cent. South Univ. Technol. (2010) 17: 1230–1237. DOI: 10.1007/s11771-010-0624-z
- [16] JING Ming-qing, LIU Heng, LIAN Jin-xing, YU Lie. Two-dimensional high precision positioning maglev stage [J]. Journal of Xi'an Jiao Tong University, 2008, 42(11): 1377–1381.
- [17] SINHA P K, PECHEV A N. Model reference adaptive control of a maglev system with stable maximum descent criterion [J]. Automatica, 1999, 35(8): 1457–1465.
- [18] S. Xiao et al. Optimal design of a for middle-low-speed maglev trains. Open Phys. 2018; 16:168–173. <https://doi.org/10.1515/phys-2018-0024>