

Viabilidad para la implementación de un sistema de transporte de cargas mediante impulsión por campo magnético permanente.

Viability for implementing a system of cargo transportation by permanent magnetic field.

William F. Moreno¹, Juan Carlos Camargo², Dayro Sierra³

¹*Ingeniero Mecánico. UNIECCI, Colombia, wmoreno@eccci.edu.co*

²*Ingeniero Mecánico. UNIECCI, Colombia, jcamargo@eccci.edu.co*

³*Ingeniero Mecánico. UNIECCI, Colombia, Dsierra@eccci.edu.co*

Resumen

La energía magnética es una importante y prometedora forma de producir movimiento debido a varias razones. La construcción de sistemas sin contacto permite por ejemplo disminuir costos de mantenimiento y operaciones eficientes que reduzcan la contaminación ambiental. Este artículo presenta una experimentación con imanes permanentes de neodimio N35. Se moviliza un carro mediante el efecto de repeler el imán montado en el vehículo contra campos magnéticos instalados en la pista de pruebas. La pista se adecúa para que empuje al carro los 70,5 cms de recorrido utilizando solo la fuerza magnética de los imanes. Se montan cargas de 12, 24 y 36 gramos para determinar las velocidades promedio alcanzadas y las distancias recorridas. La máxima velocidad de 2,826 km/h se logró montando 3 imanes de impulso inicial en la pista. La velocidad aumenta si se incrementa el campo magnético inicial de empuje, al igual que la energía potencial y cinética. El vehículo pudo arrastrar una carga del 105 % de su peso y recorrió el total de la pista. Los resultados obtenidos permiten plantear la posibilidad de llevar el modelo a una mayor escala para estudio.

Palabras clave:

Energía limpia, magnetismo, neodimio, transporte

Abstract

Magnetic energy is an important and promising way to produce movement due to various reasons. The construction of contactless systems allows lower maintenance costs and efficient operations to reduce environmental pollution. This paper presents an experiment with permanent neodymium N35. A car is mobilized by the effect of repelling magnet mounted on the vehicle against magnetic fields installed on the test track. The track is suited to push the car 70.5 cms travel using only the magnetic force of the magnets. Loads of 12, 24 and 36 grams are mounted to determine the average achieved speeds and distances. The maximum speed of 2,826 km / h was achieved by mounting three magnets of impulse at the start on the track. The speed increases if the initial push magnetic fields do it like the potential and kinetic energy. The vehicle could drag a load of 105% of their weight and ran the total of the track. The results obtained suggest the possibility of bringing the model to a larger scale to study.

Keywords:

Clean energy, magnetism, neodymium, transport

1. Introducción

Durante siglos, los fenómenos del magnetismo han sido objeto de estudio por la comunidad científica que se veía interesada por la invisibilidad de su manifestación en la naturaleza con la magnetita, entendiendo que son fuerzas que hacen a dos cuerpos atraerse o repelerse según su polaridad; cargas del mismo polo se repelen y cargas de diferente polo se atraen [1].

Historiadores adjudican los primeros usos del magnetismo en China desde el siglo XIII a.C. [2], con la brújula, y que su invención es de origen árabe o indio. Desde el año 800 a. C. los griegos ya tenían conocimientos sobre el magnetismo, descubrieron que la magnetita (Fe_3O_4) [1] atrae fragmentos de hierro a causa de su carga magnética producida por la caída de rayos a la tierra, este descubrimiento se realizó en la ciudad de Magnesia del Meandro, de aquí el término del magnetismo [2].

Los imanes que son dispositivos u objetos que poseen un campo magnético significativo y que tienen la capacidad de atraer metales ferrosos como el Cobalto, níquel, hierro y aleaciones [3], han estado presentes en el desarrollo continuo de la industria e influenciado a la sociedad moderna [4]. Se han dado diferentes aplicaciones a los campos magnéticos permanentes presentes en los imanes, tales como brújulas, bandas magnéticas de las tarjetas electrónicas, altavoces, discos duros para almacenamiento de datos, motores eléctricos, pegatinas de refrigerador, bocinas, generadores eléctricos; con la creación de imanes de tierras raras que tienen mayor fuerza y potencia en un menor tamaño comparado con los tradicionales de alnico (aluminio, níquel, cobalto) y ferrita [4], se han logrado avances importantes en el desarrollo tecnológico como en el perfeccionamiento de microprocesadores, pastillas para guitarras eléctricas, motores para vehículos híbridos y eléctricos, en joyería, medicina alternativa que realiza terapias con imanes de neodimio [4].

También se han desarrollado aplicaciones del movimiento de partículas con carga en un campo magnético como por ejemplo en el acelerador de hadrones (partícula subatómica) para mantenerlas controladas en el centro del LHC, en los espectrómetros de masas para determinar la relación de masa sobre la carga eléctrica de diferentes isótopos, en el ciclotrón que utilizan hospitales para la producción de sustancias radioactivas para el diagnóstico y tratamiento, en el desarrollo de sensores de presión y posición que funcionan bajo el principio del efecto hall [2].

En el sector del transporte ha sido una gran innovación la implementación de la levitación magnética en el tren Maglev [5] de Japón o el Aero-tren de Europa, estos trabajan mediante el principio de repulsión de polos para levitación o el uso de materiales superconductores respectivamente; además de ello logran su impulsión con cambios de polaridad en los rieles que los guían [6]. Los trenes de levitación magnética funcionan gracias a la alimentación de red de suministro eléctrico convencional, hidráulico, térmico o nuclear, demandando un alto consumo energético para elevar y controlar la polaridad de los electroimanes [6].

La oportunidad de utilizar campos magnéticos permanentes en un sistema de impulsión para el transporte ya sea industrial o humano puede verse atractivo si consideramos la reducción en el consumo energético y la disminución de los costos de mantenimiento. Estas

razones nos llevan a establecer en este artículo una experimentación básica que brinde los primeros análisis a la propuesta de utilizar imanes permanentes como impulsión de un vehículo rodante, utilizaremos el principio fundamental de repulsión de los polos de igual polaridad para movilizar un vehículo al cual se le monitorizaran diferentes variables, se manejarán alternativas de fuerza magnética cambiando la intensidad de los campos magnéticos adicionando y restando imanes, se medirán las velocidades y distancias recorridas por el móvil en una maqueta base de pruebas, se analizaran los datos obtenidos y se darán conclusiones ante la factibilidad de la implementación de esta aplicación.

1.1. Conceptualización

Comúnmente el símbolo \vec{B} [7] [2] representa el campo magnético, la dirección en cualquier sitio de un campo magnético es la dirección a la cual apunta la brújula colocada en dicha posición [2]. Se puede representar el campo magnético utilizando líneas que describan la trayectoria, las líneas del polo norte en un imán ingresan al polo sur.

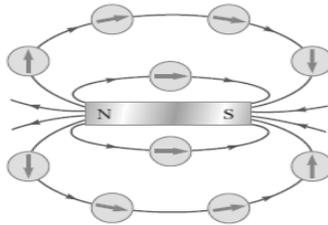


Figura 1. Líneas de campo magnético de un imán. Las Brújulas se forman según la dirección del campo [2].

La fuerza magnética que se ejerce cuando una partícula está en movimiento en un campo magnético se describe como:

$$\vec{F} = \vec{v} \times \vec{B} \quad (1)$$

Donde; \vec{F} es la fuerza Magnética, \vec{v} la Velocidad de la partícula y \vec{B} el Campo magnético. La unidad SI del campo magnético es tesla (T), que es igual a un Newton sobre Coulomb por metro sobre segundo. Tesla también se define como Newton sobre amperios. Comúnmente se utiliza la medida del C.G.S llamada Gauss (G), la relación con Tesla es de 10^4 G [2].

El flujo magnético a través de una superficie se define por la ley de Gauss, de esta manera el gasómetro determina el flujo en un imán permanente, el símbolo es ϕB y se define:

$$\phi B = \int B * dA \quad (2)$$

Donde B es el campo magnético y dA es el área que atraviesa el campo.

2. Metodología

Se conocieron las principales características de los imanes de neodimio o tierras raras más comunes en el mercado comercial como lo es el N35, el cual presenta particularidades significativas como alta potencia, anti-oxidantes con recubrimiento de zinc, poder magnético 10 veces mayor que los imanes tradicionales [8], con un costo de \$ 2 000 (Pesos colombianos) por unidad.

Tabla I. Propiedades del Neodimio [8]

Neodimio (Nd)	
Temperatura máxima	80°C hasta 180°C
Fuerza portante típica	3,54 Kgf
Dimensiones	25, 11,3 mm
Revestimiento	Zinc
Aleaciones	Hierro-Boro
Imantación	Axial
Campo magnético	3250 Gauss
Densidad	7,4 g/cm ³
Remanencia	1080-1160 mT
Denominación	N35

Posteriormente se realizó la comprobación de la fuerza que puede ejercer el imán de neodimio de atracción o repulsión, levantando un peso controlado que se pegue a una de sus superficies planas, la fuerza será la mayor cantidad de carga que pueda levantarse, como se muestra en la figura 2.

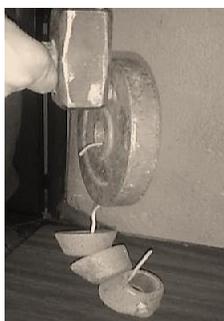


Figura 2. Prueba de la fuerza magnética del imán de Neodimio N35, el máximo valor alcanzado es de 34,3 N.

La temperatura capaz de soportar el Neodimio N35 sin perder sus condiciones magnéticas es de 80°C hasta -40°C [8], lo cual hace que sea un material ideal si se piensa en que no va a estar sometido a condiciones de fricción o rozamiento, o en lugares que lo sometan a esa estado según la propuesta realizada en este artículo, también se realizó la medición del campo magnético con el Gasómetro digital, se registró el valor de 2375 gauss. Figura 3.



Figura 3. El Neodimio N35 al ser sometido a 80 °C, pierde sus propiedades magnéticas. Campo magnético del imán de neodimio, valor registrado 2375 Gauss. Prueba experimental.

Fue necesaria la construcción de un modelo que permita realizar pruebas de funcionamiento, se modificó un móvil al cual se le instaló estratégicamente un imán de Neodimio N35, el vehículo tiene una masa de 34 g, construido en plástico y su plataforma es de aluminio, figura 4.



Figura 4. Vehículo modificado para pruebas de funcionamiento en pista, masa de 34 gramos, materiales de plástico y aluminio en plataforma.

Se construyó una pista de pruebas con base en madera liviana, guías para el vehículo fijadas con pegante instantáneo y su material es balsa de ½ pulgada. En las guías fueron posicionados imanes de neodimio N35 a lo largo de su longitud uno tras otro, de tal manera que sus polos norte señalen hacia el interior de la pista con el objetivo de repeler al carro en su paso, esta posición se verificó con el uso de una brújula. Para establecer el posicionamiento de los imanes, se realizaron pruebas anteriores en las cuales se usaron diferentes ángulos de posición por método experimental, permitiendo instaurar la mejor posición del modelo construido.

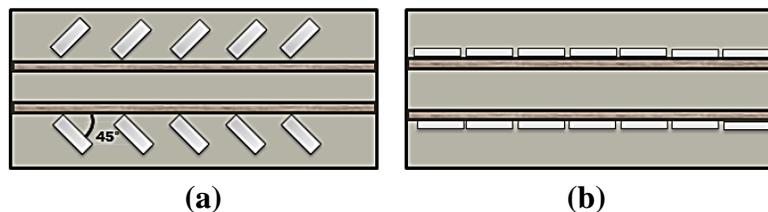


Figura 5. Angulo de 45° probado en pista de pruebas (a). Imanes instalados en guía de pista uno tras otro (b).

La pista total que recorre el vehículo es de 70,5 cm, consta de un dispositivo de lanzamiento que retiene el vehículo hasta que sea accionado, además de ello se instaló una cinta métrica para observar la distancia final. En la parte anterior y posterior, se adicionaron dos topes finales para el recorrido del carro, en ellos se montaron imanes de neodimio que entregan un impulso inicial a la carrera del vehículo. Las partes de la pista se muestran en la figura 5.

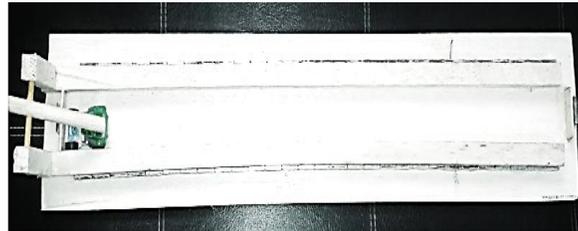


Figura 6. Pista de pruebas. Imanes de neodimio posicionados en las guías de pista.

2.1 Pruebas

Se posiciona el vehículo en la pista de pruebas en la grilla de salida, sostenido por el dispositivo de lanzamiento se acciona para que el vehículo sea repelido por los imanes consiguiendo su desplazamiento por la pista. En seguida se toma el tiempo que tarda el vehículo en detenerse así como la distancia recorrida, es necesario realizar 10 lanzamientos por prueba para tomar valores promedio de tiempo y distancia lograda por el vehículo, de esta manera se calcula la velocidad alcanzada por el móvil en cada prueba. En la primera prueba se instala un imán de impulso en la parte anterior de la pista con el carro sin carga, luego se adiciona una carga de 12 gramos, una de 24 gramos y por ultimo una de 36 gramos. Subsiguientemente con el vehículo sin carga y utilizando dos imanes de impulso inicial en grilla se lanza el móvil, luego se pone una carga de 12 gramos, una de 24 gramos y por ultimo una de 36 gramos. Finalmente con el vehículo sin carga utilizando tres imanes de impulso inicial en grilla se lanza el vehículo y se registran los datos, luego se adiciona una carga de 12 gramos, una de 24 gramos y una de 36 gramos. En total se efectuaron 12 pruebas. Figura 6.

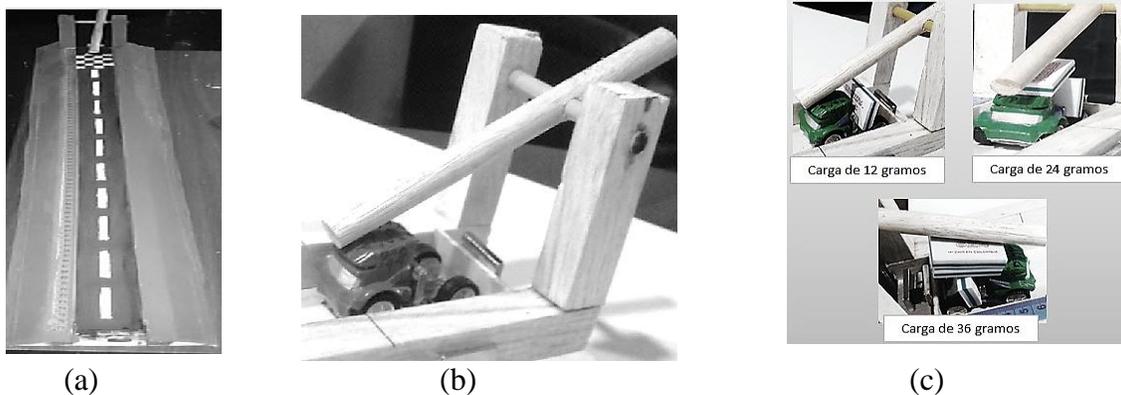


Figura 7. Condiciones iniciales de pruebas. (a) Pista de prueba con grilla de salida, cinta métrica e imanes de impulso. (b) Dispositivo de lanzamiento. (c) Vehículo con carga.

2.2 Resultados de las pruebas

Para la primera prueba, que se efectuó con un solo imán de primer impulso se obtuvo una velocidad máxima de 1,7 Km/h y un recorrido del total de la pista de 70,5 cms. Se evidencia una disminución de la velocidad a medida que se incrementa el peso en el carro, así como el recorrido en la pista. En la prueba siguiente en la que se utilizaron dos imanes de primer impulso, se alcanzó una velocidad máxima de 2,538 Km/h y un recorrido del total de la pista de 70,5 cms. Se nota un aumento considerable de la velocidad al aumentar el campo magnético, lo cual indica una proporcionalidad directa.

La prueba final con tres imanes de primer impulso el campo magnético que repele se incrementa y como resultado aumenta la velocidad, que llegó hasta 2,826 Km/h, logrando en las pruebas de carga el mismo recorrido de 70,5 cms. Se evidencia la proporcionalidad del campo magnético con respecto a la velocidad y fuerza en el vehículo. Tabla II.

Tabla II. Datos generales de práctica realizada con diferentes cargas y con la utilización de 1 a 3 imanes de impulso en la grilla de salida de la pista.

TABLA GENERAL DE DATOS OBTENIDOS EN PRACTICA									
CANTIDAD DE IMANES	SISTEMA DE IMPULSION	Sin carga		12 gramos de carga		24 gramos de carga		36 gramos de carga	
		VELOCIDAD (Km/h)	DISTANCIA RECORRIDA (Cm)	VELOCIDAD (Km/h)	DISTANCIA RECORRIDA (Cm)	VELOCIDAD (Km/h)	DISTANCIA RECORRIDA (Cm)	VELOCIDAD (Km/h)	DISTANCIA RECORRIDA (Cm)
1	Imán	1,70316	70,5	1,68	70,5	1,09	59,83	1,26	49,39
2	Imán	2,538	70,5	2,36	70,5	1,77	70,5	1,308	55,61
3	Imán	2,826	70,5	2,605	70,5	1,901	70,5	1,379	70,5

El vehículo logró transportar una carga igual al 105 % proporcional al de su peso llevándola hasta el total de recorrido de la pista de 70,5 cms. Los imanes de neodimio que se encuentran en las guías entregan impulso adicional al vehículo empujándolo hasta el final de la carrera, gracias a su disposición de repeler ante el imán que se encuentra alojado en el carro.

La distancia recorrida se mantiene constante hasta la prueba de 12 gramos, en la prueba de 24 gramos la distancia total de 70,5 no se alcanzó con un imán de impulso mientras que con dos y tres si se logró. La prueba de 3 imanes de impulso alcanzó la máxima velocidad y siempre cumplió con el recorrido de la pista, evidencia que se muestra en el gráfico 1.

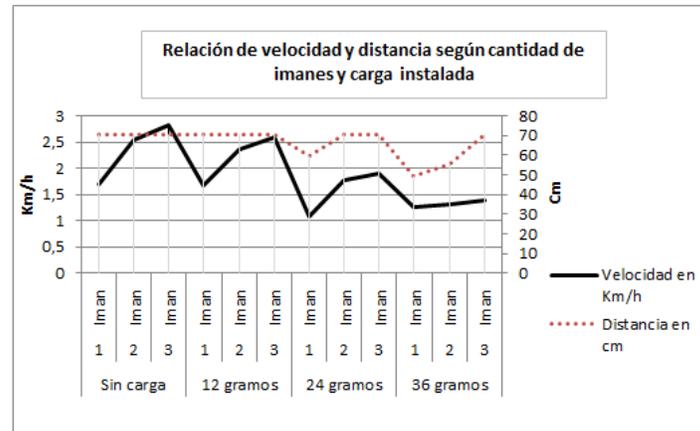


Gráfico 1. Velocidades y distancias logradas en pruebas con diferentes cargas y campos magnéticos de empuje inicial.

La energía inicial del montaje se calculó mediante la similitud del efecto de repulsión entre los polos magnéticos con la energía almacenada en un resorte comprimido [9]. Para realizar la experiencia, se construyó una nueva pista de pruebas con dispositivo de lanzamiento, no se instalaron los imanes de guía de pista para poder lanzar el vehículo sin la influencia de estos campos magnéticos, de tal forma se conoce la fuerza con la cual el carro es impulsado hacia la pista y la energía cinética del movimiento.



Figura 8. Pista de prueba sin imanes de guía.

Con el vehículo sin carga y utilizando un imán de impulso inicial en grilla, se libera el móvil accionando el dispositivo de lanzamiento. Se deben registrar los datos de distancia recorrida y tiempo hasta que el vehículo se detenga, se realizan 10 lanzamientos y se toman los valores promedio, con la masa del carro y la velocidad obtenida se calcula la energía cinética y potencial.

Posteriormente se utilizan dos imanes para el impulso del vehículo siendo necesario realizar los mismos pasos que en la prueba anterior. Luego se utilizan 3 imanes para el impulso del vehículo y se realizan los mismos cálculos, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla III. Energía potencial y cinética obtenida con el uso de diferentes imanes de impulsión

TABLA DE ENERGIAS					
Pruebas	Energía potencial	Energía cinética	Velocidad	Distancia	Tiempo
	J	J	Km/h	cm	s
1 imán de impulso	11,74775	0,028788341	1,3013193	34,25	0,9475
2 imanes de impulso	15,46587	0,034346476	1,4214011	45,09	1,142
3 imanes de impulso	18,46026	0,046223793	1,6489532	53,82	1,175

La energía potencial con la cual el vehículo parte desde la grilla de salida es de 11,74 Joule, posteriormente se desplaza una distancia de 34, 25 cms, lo cual hace que se produzca una energía de 0,028 Joule. Es importante comparar la distancia recorrida por el móvil con los imanes de las guías que fue de 70,5 cms, esto significa que el campo magnético adicional de las guías permite recorrer una mayor distancia, que representa un desplazamiento de hasta un 51% más de recorrido. Se puede apreciar el incremento de la velocidad del vehículo, de la energía potencial y cinética gracias al aumento del campo magnético inicial de impulso.

La diferencia entre utilizar 1 imán de impulso que es el mínimo instalado en la pista al de 3 imanes, está marcada por la energía potencial; que en el caso de un imán de impulso es de 11,74 Joule, mientras que en la de 3 imanes de impulso es de 18,46 Joule. Por lo tanto, entre mayor sea el campo magnético inicial utilizado para empujar el vehículo en la pista, mayor será la distancia recorrida por el móvil.

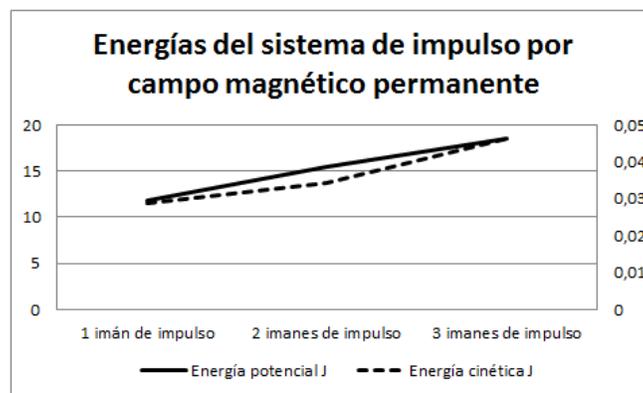


Gráfico 2. Aumento de energías potencial y cinética en relación al campo magnético de los imanes permanentes.

3. Conclusiones

En este artículo se presentó una alternativa de transporte de carga mediante el uso de campos magnéticos de imanes permanentes. Fue necesaria la construcción de una maqueta para realizar las pruebas que fueron planteadas originalmente en cuanto a la capacidad de carga del vehículo y la cantidad de desplazamiento que alcanzó el carro en la pista el cual fue de 70,5 cms. Se realizaron pruebas lanzando el vehículo sin ningún tipo de carga y cambiando la cantidad de imanes que empujaban al carro desde la parte posterior de la pista bajo el efecto de repeler polos de la misma polaridad, el móvil logró alcanzar una velocidad máxima de 2,826 km/h al utilizar 3 imanes de impulso inicial en la pista. En la pista se instalaron imanes de neodimio en las guías dispuestas estratégicamente para que repelieran al carro en su paso adicionándole un empuje. Se pudo determinar que a medida que aumentamos el campo magnético instalado en la pista, se aumenta la velocidad y la fuerza que empuja al vehículo, el carro consiguió movilizar una carga semejante a la de su peso gracias al empuje que le da la repulsión magnética de los imanes instalados en la pista.

Fue concluyente el análisis de la energía potencial, nos indicó que a mayor campo magnético que se logra aumentando el número de imanes, mayor fué el desplazamiento que alcanzó el carro, por lo tanto su energía cinética aumentó.

El modelo propuesto también permitió establecer como alternativa de movilidad de una carga el sistema de campos magnéticos permanentes, ya que es una opción con posibles aplicaciones industriales o urbanas. Es de notar que en el proceso no se arrojaron contaminantes al ambiente, lo cual induce a continuar el estudio de este fenómeno para proponer un modelo de mayor escala que brinde resultados más cercanos a una realidad de aplicación.

4. Referencias

- [1] J.M.D. Coey, Magnetism and magnetic materials, New York: Cambridge University Press, 2009.
- [2] Raymond A. Serway, Física para ciencias e ingeniería para física moderna, vol. 2, California States: CENGAGE Learning, 2008.
- [3] James D. Livingston, «Imanes y neomagnetos,» *Massachussets Institute of Technology*, 2008.
- [4] Benjamin Crowell, Electricity and magnetism, Fullerton, California: ISBN, 1999.
- [5] A Cassat, M. Jufer, «Maglev Projects, Technology aspects and Choices,» *ResearchGate*, pp. 1-12, 01 08 2015.
- [6] Danilo Rairan, «Levitacion Magnetica, el sistema de transporte del futuro,» *Tecnura*, pp. 1-7, 1 2 1999.

- [7] Panofsky-Phillips, «Magnetic Materials,» de *Classical electricity and magnetism*, vol. 2, Massachusetts U.S.A, ADDISON -WESLEY PUBLISHING, 1962, pp. 142-154.
- [8] Jose Maria Iparagirre, «Imanes y sistemas magneticos,» ARELEC IBERICA, Vitoria (Alava), 2008.
- [9] Roberto García Pérez , « ESTUDIO DEL USO DE IMANES PERMANENTES COMO RESORTE MECANICO DE RIGIDEZ VARIABLE,» Universidad Carlos 3 de Madrid, Leganes, 2011.