

Diseño de un dispositivo para generación de fuerza magnética en microgravedad

Damian Madero-Fontecha¹
Grupo Educativo More
damian_madero@hotmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21158/23823399.v8.n0.2020.2718>

Fecha de recepción: 12 de marzo de 2020

Fecha de aprobación: 16 de septiembre de 2020

Cómo citar este artículo: Madero-Fontecha, D. (2020). Diseño de un dispositivo para generación de fuerza magnética en microgravedad. *Revista Ontare*, 8, 107-124.

DOI: <https://doi.org/10.21158/23823399.v8.n0.2020.2718>

¹ Ingeniero Mecánico - Universidad Industrial de Santander. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7526-0910>





RESUMEN

Cuando un avión realiza maniobras parabólicas, la tripulación está sometida a gravedad reducida o microgravedad. Teniendo en cuenta esto, el objetivo del dispositivo aquí propuesto es que, durante tres parábolas, se pueda generar una fuerza descendente que simule el efecto de la gravedad y haga que el dispositivo permanezca inmóvil ante la presencia de ingravidez. En otras tres parábolas se espera generar una fuerza ascendente con el fin de que el dispositivo se desplace en dirección opuesta a la microgravedad. La metodología utilizada para la generación de fuerzas cumple la ley Lorentz, según la cual un cable conductor que transporta corriente, al estar sometido a un campo magnético, genera un vector de fuerza. En los dos casos, las fuerzas ascendentes y descendentes se medirán por celdas de carga ubicadas en la parte superior e inferior de dos imanes. Los resultados de este dispositivo son importantes para la exploración espacial, ya que este principio sería aplicable a la creación de «gravedad artificial» al usar este sistema en un traje espacial, así como en aplicaciones en la tierra relacionadas con el principio de levitación magnética. Los resultados obtenidos durante el vuelo, recopilados por las celdas de carga y almacenados en una memoria, muestran la presencia de fuerzas ascendentes y descendentes en un entorno de microgravedad.

Palabras clave: Ley de Lorentz; microgravedad; maniobras parabólicas; electromagnetismo; ingravidez; exploración espacial; levitación magnética.





Designing a device for generating **magnetic force in microgravity**

ABSTRACT

When an aircraft performs parabolic maneuvers, the crew is subject to reduced gravity or microgravity. Taking this into account, the objective of the device that is proposed in this study is to generate during three parabolas a downward force that simulates the effect of gravity and makes the device remain motionless in the presence of weightlessness. In other three parabolas, the expectation is to generate an upward force so that the device moves in the opposite direction to microgravity. The methodology used for force generation is in line with Lorentz's law, according to which a current carrying conductor cable generates a force vector when coming under a magnetic field. In both cases, the upward and downward forces will be measured by load cells located at the top and bottom of two magnets. The results of this device are important for space exploration, since this principle would be applicable to the creation of "artificial gravity" when using this system in a space suit, as well as in applications on earth related to the principle of magnetic levitation. The results obtained during the flight, collected by the load cells, and stored in a memory, show the presence of upward and downward forces in a microgravity environment.

Keywords: Lorentz's Law; microgravity; parabolic maneuvers; electromagnetism; weightlessness; space exploration; magnetic levitation.



Desenho de um dispositivo para geração de força magnética em microgravidade

RESUMO

Quando um avião realiza manobras parabólicas, a tripulação é submetida a uma redução da gravidade ou microgravidade. Levando isso em consideração, o objetivo do dispositivo aqui proposto é que, durante três parábolas, possa ser gerada uma força descendente que simule o efeito da gravidade e faça com que o dispositivo permaneça imóvel na presença da gravidade zero. Em três outras parábolas, espera-se gerar uma força ascendente com a finalidade de que o dispositivo se mova na direção oposta à microgravidade. A metodologia utilizada para geração de forças atende à lei de Lorentz, da qual um cabo condutor de corrente, ao estar submetido a um campo magnético, gera um vetor de força. Em ambos os casos, as forças ascendentes e descendentes serão medidas por células de carga localizadas na parte superior e inferior de dois ímãs. Os resultados deste dispositivo são importantes para a exploração espacial, já que este princípio seria aplicável à criação de “gravidade artificial” ao utilizar este sistema em uma roupa espacial, bem como em aplicações na terra relacionadas com o princípio da levitação magnética. Os resultados obtidos durante o voo, coletados pelas células de carga e armazenados em uma memória, mostram a presença de forças ascendentes e descendentes em um ambiente de microgravidade.

Palavras-chave: Lei de Lorentz; microgravidade; manobras parabólicas; eletromagnetismo; gravidade zero; exploração espacial; levitação magnética.





Conception d'un dispositif de génération **de force magnétique en microgravité**

RÉSUMÉ

Lorsqu'un aéronef effectue des manœuvres paraboliques, l'équipage est soumis à une gravité réduite ou micro-gravité. L'objectif du dispositif proposé ici prétend qu'au cours de trois paraboles, une force descendante puisse être générée pour simuler un effet de gravité rendant le dispositif immobile en apesanteur. Lors de trois autres paraboles, il faudra générer une force ascendante pour que le dispositif se déplace en direction opposée à la microgravité. La méthodologie utilisée pour la génération des forces est conforme à la loi de Lorentz, selon laquelle un conducteur de courant, soumis à un champ magnétique, génère un vecteur de force. Dans les deux cas, les forces ascendantes et descendantes seront mesurées par des cellules de charge situées aux extrémités de deux aimants. Les résultats de ce dispositif sont importants pour l'exploration spatiale, puisque ce principe serait applicable à la création de «gravité artificielle» utilisable dans une combinaison spatiale ou dans le cadre d'applications au sol liées au principe de lévitation magnétique. Les résultats obtenus pendant le vol, qui sont collectés par les cellules de charge et stockés dans une mémoire dédiée, montrent la présence de forces ascendantes et descendantes dans un environnement de microgravité.

Mots clés: loi de Lorentz; microgravité; manœuvres paraboliques; électromagnétisme; apesanteur; exploration de l'espace; lévitation magnétique.



1. Introducción

Este texto presenta la construcción de un dispositivo que permite investigar la viabilidad de usar la fuerza magnética en un ambiente de microgravedad, con miras a posibles aplicaciones para la creación de gravedad artificial y levitación magnética. La generación de la fuerza magnética obedece a la ley de Lorentz. El campo magnético se genera con dos imanes permanentes de neodimio, y la corriente eléctrica con una batería de 12 voltios. Este dispositivo fue propuesto en el *International Microgravity Flight Challenge, The PoSSUm 13*, una competencia que invita a equipos de estudiantes liderados por mujeres en todo el mundo a proponer dispositivos científicos con el propósito de ejecutarlos en microgravedad. El objetivo del dispositivo es generar fuerzas ascendentes y descendentes que recolecten celdas de carga, las cuales se almacenan en una memoria para su posterior análisis.

El proyecto PoSSUM 13 dio como ganador, en el 2019, en su competencia anual, al proyecto denominado Fuerza Magnética en Microgravedad, el cual permite a una estudiante llevar una carga útil a bordo del avión Falcon-20. Los vuelos parabólicos de las aeronaves proporcionan periodos repetitivos de gravedad reducida cuya duración depende del nivel de gravedad reducida del objetivo y del tipo de avión utilizado (Pletser, 2016). Durante las empujadas maniobras realizadas por el avión, denominadas parábolas, la tripulación experimenta periodos de ingravidez; el objetivo de los científicos a bordo es probar dispositivos en humanos y componentes, lo cual genera avances en la investigación espacial y las condiciones de los humanos en la Tierra. Esta competencia la organiza el Consejo Nacional de Investigación de Ottawa, Canadá.

Este artículo presenta la propuesta de construcción del dispositivo, la metodología utilizada para la generación de fuerza magnética, la medición y la recopilación de esta. Finalmente, se discuten los hallazgos y se exponen las conclusiones obtenidas después del vuelo en un entorno de microgravedad.





2. Propuesta

La fuerza magnética es el resultado de pasar corriente a través de un cable conductor, cuando dicho cable está inmerso en un campo magnético. La ecuación que expresa esta fuerza es la siguiente:

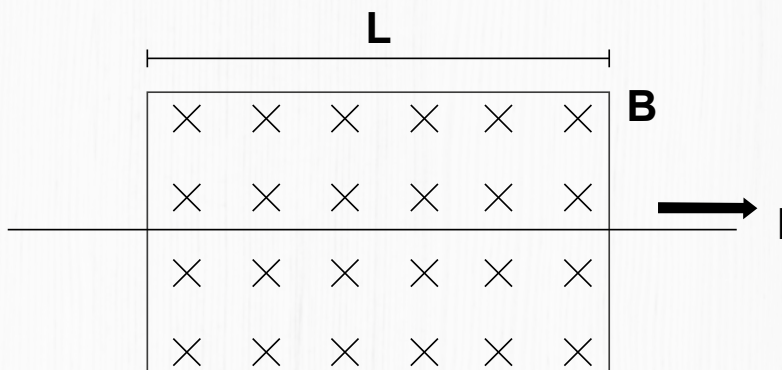
$$F = ILXB[N] \quad (1)$$

Donde:

- **F** es la fuerza magnética, en Newton;
- **I** es la intensidad de la corriente eléctrica, medida en amperios;
- **L** es la longitud del cable conductor inmerso en el campo magnético, medido en metros;
- **B** es la inducción magnética, medida en Teslas.

Esta ecuación es también conocida como fuerza de Lorentz y se define como la fuerza ejercida por un campo electromagnético que recibe una partícula cargada o una corriente eléctrica.

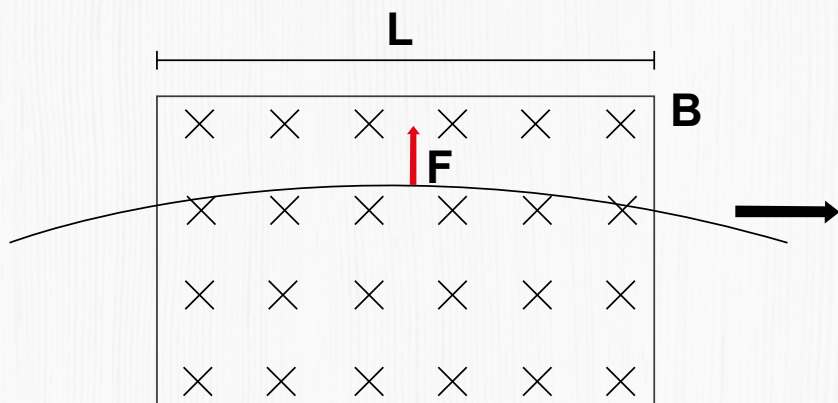
Figura 1. Cable conductor a través de un campo magnético



Fuente. Elaboración propia.



Figura 2. Una fuerza magnética es generada



Fuente. Elaboración propia.

La figura 1 muestra un campo magnético generado por un imán permanente B, el cual se ilustra como un vector que apunta hacia adentro de la hoja, y de longitud L. Cuando un conductor con corriente eléctrica pasa a través de dicho campo magnético B, un vector de fuerza F se genera, tal como se muestra en la figura 2. Al ser un producto vectorial, cumple con la regla de la mano derecha y la fuerza resultante es en la dirección mostrada. Por otra parte, si la corriente fluye en la dirección opuesta, la fuerza magnética será un vector que apunta hacia abajo. La fuerza magnética puede ser de naturaleza atractiva o repulsiva, dependiendo de la dirección del flujo de corriente (Masuzawa, Masahiro y Mapley, 2018).

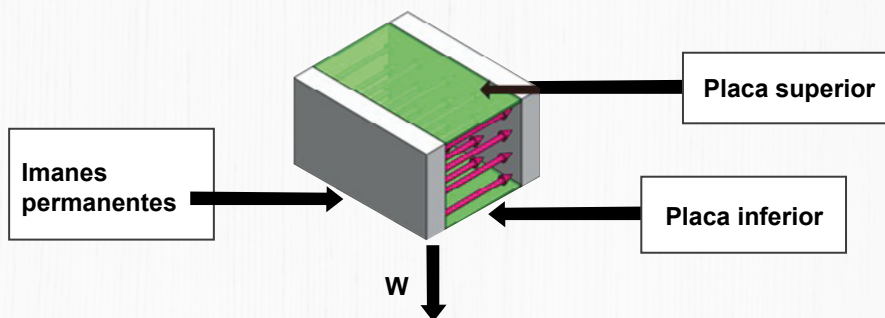




3. Metodología

El siguiente ensamblaje se propone con el fin de aplicar la ley de Lorentz a nuestro dispositivo.

Figura 3. Imanes de neodimio



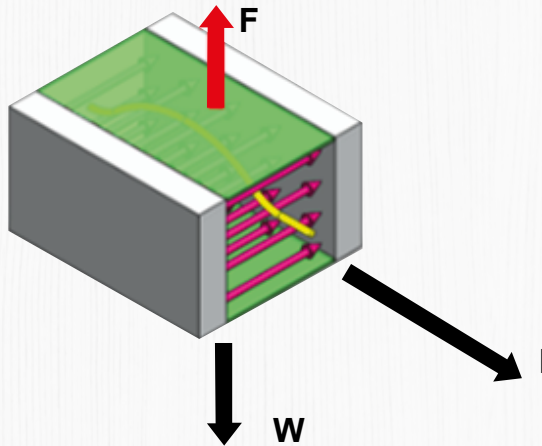
Fuente. Elaboración propia.

Dos imanes permanentes se localizan como se muestra en la figura 3, un campo magnético B se genera y se representa por las líneas rojas. Las placas de color verde evitan que los imanes entren en contacto.

Un conductor se introduce en el campo magnético y se hace pasar una corriente a través de este; como consecuencia, una fuerza F actúa sobre las placas que soportan los imanes. La dirección de la corriente dependerá de si se necesita que el vector de fuerza generado vaya a favor del peso, incrementándolo, o en su contra. Véanse las figuras 4 y 5.

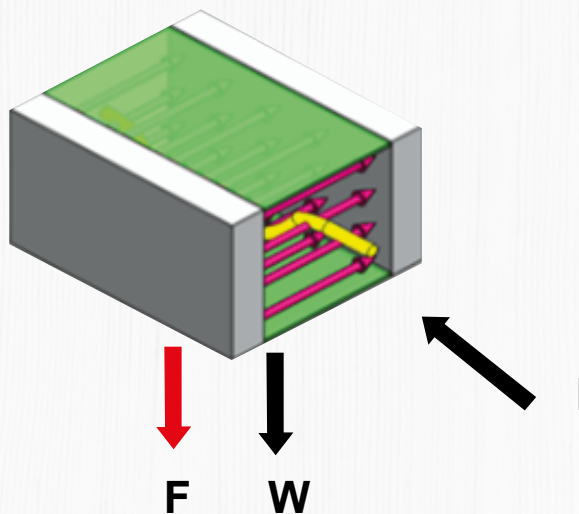


Figura 4. Fuerza en la dirección opuesta a la gravedad



Fuente. Elaboración propia.

Figura 5. Fuerza en la dirección de la gravedad



Fuente. Elaboración propia.

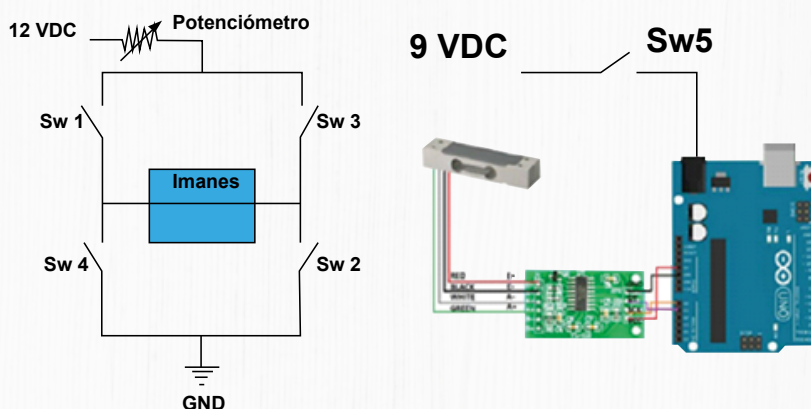




3.1 Esquema eléctrico

Dos circuitos eléctricos independientes se proponen para el dispositivo: uno encargado de la potencia y otro encargado de la recolección de datos. El primer circuito eléctrico consiste en una fuente de poder en DC, cuatro interruptores y un cable conductor. En el esquema de la figura 6 se muestra una configuración tipo puente H, la cual permite que la dirección del vector corriente cambie cuando los interruptores se operen. El par de interruptores SW1 y SW2 modifican el vector fuerza hacia abajo, y SW3 y SW4 hacia arriba. La fuerza será medida por celdas de carga localizadas en la parte superior e inferior de los imanes; toda la información será procesada a través del segundo circuito eléctrico que permite almacenar esta información en un controlador tipo Arduino; un quinto interruptor activará el proceso de recolección de información.

Figura 6. Circuito de control y potencia

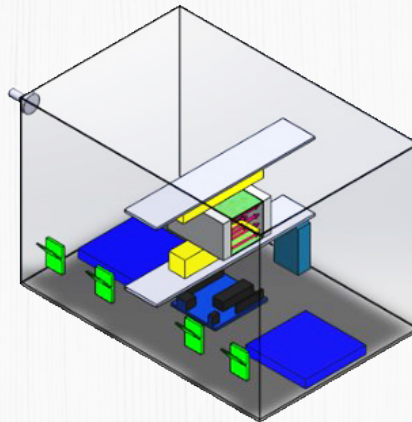


Fuente. Elaboración propia.

Los componentes del dispositivo se ilustran en la figura 7 y en la figura 8. El sistema de imanes especificado en las figuras 4 y 5 se encuentra entre dos celdas de carga, una en la parte superior y la otra en la parte inferior; este conjunto se sujeta al contenedor mediante dos placas. Un controlador Arduino se localiza en la parte inferior del contenedor, detrás de este se encuentra una batería de 9 V que energiza el sistema de recolección de datos —celdas de carga, más el Arduino— que es energizada con el quinto interruptor. En la

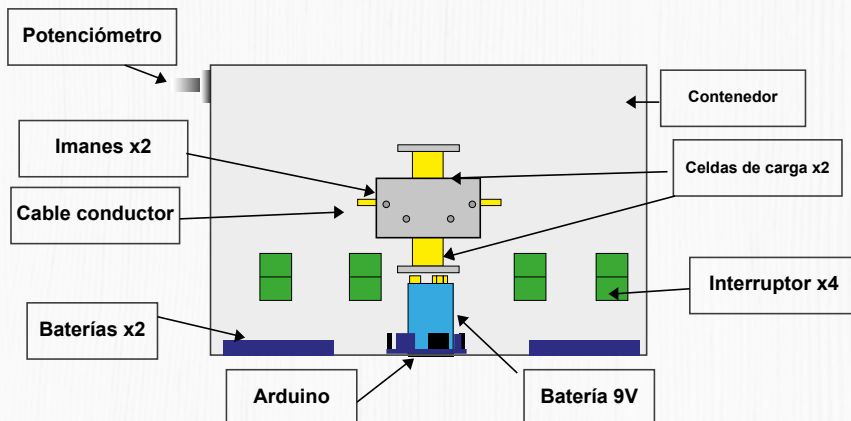
parte inferior derecha e izquierda del contenedor se encuentran dos baterías de 12 V, las cuales están conectadas a cuatro interruptores que modifican la dirección de la corriente. El cable conductor se extiende a través de las baterías y los interruptores como se muestra en la figura 6.

Figura 7. Diseño conceptual



Fuente. Elaboración propia.

Figura 8. Detalle de componentes



Fuente. Elaboración propia.



En este punto, el peso W es la suma de las masas de todos los componentes multiplicada por la gravedad.

$$W = \Sigma m \times g \text{ [N]} \quad (2)$$

3.2 Plan propuesto para la recolección y el análisis de datos

Para la recolección de datos se proponen dos celdas de carga: una en la parte inferior del sistema de imanes que permite medir las fuerzas ascendentes y la otra en la parte inferior para las fuerzas descendentes. Se activará un interruptor encargado de activar y desactivar el sistema de recolección de datos según los tiempos específicos de cada parábola. La información de fuerza se obtiene en unidades de Newton y se almacena en una memoria externa. Al finalizar el experimento, los datos serán procesados con el propósito de verificar la aplicabilidad de nuestro dispositivo usando los siguientes cálculos.

Se requiere encontrar una fuerza total que cumpla que:

$$F_{Total} = F_{Magnética} + W \text{ [N]} \quad (3)$$

$$F_{Total} = ILXB[N] + \Sigma mxg[N] \quad (4)$$

Con, $g \cong 0$

$$F_{Total} = ILXB[N] + 0 \quad (5)$$

3.3 Procedimiento de ejecución durante el vuelo

El experimento utiliza para su funcionamiento cuatro interruptores, los cuales denotaremos con SW1, SW2, SW3 y SW4 —estos interruptores dirigen la fuerza en una u otra dirección—. A fin de lograr que la fuerza se dirija hacia abajo, es



decir, en el sentido de la gravedad, se accionarán los interruptores SW1 y SW2. Si, por el contrario, se requiere que la fuerza actúe en dirección ascendente, se activarán los interruptores SW3 y SW4. Para las seis parábolas previstas se tienen las posiciones y el respectivo accionamiento de los interruptores que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Operación durante las parábolas

Número de parábola	SW1-SW2	SW3-SW4	Tipo de fuerza
1,2,3	OFF	ON	Descendente
4,5,6	ON	OFF	Ascendente

Fuente. Elaboración propia.

4. Discusión

4.1 Pregunta científica

Así, entonces, ¿es posible que, de acuerdo con la ley de Lorentz, fuerzas ascendentes y descendentes puedan generarse en un ambiente de microgravedad?

Sí, como se muestra en las figuras 9 y 10, durante los 20 segundos de ejecución de cada parábola las celdas de carga registraron fuerzas ascendentes y descendentes. El dispositivo experimentó una fuerza de 0,10 Newton, aproximadamente. Por otro lado, la recopilación de videos en la cámara a bordo muestra el cable conductor moviéndose y generando fuerzas sobre las celdas de carga.

Ahora, ¿por qué este problema científico es importante para la exploración espacial o la vida aquí en la Tierra? Si la fuerza magnética descendente logra superar la microgravedad provista por la parábola durante 20 segundos, supone un resultado positivo para el experimento. Este resultado significaría avances en la exploración espacial, puesto que este principio sería aplicable a la creación de «gravedad artificial» al usar este sistema en un traje espacial





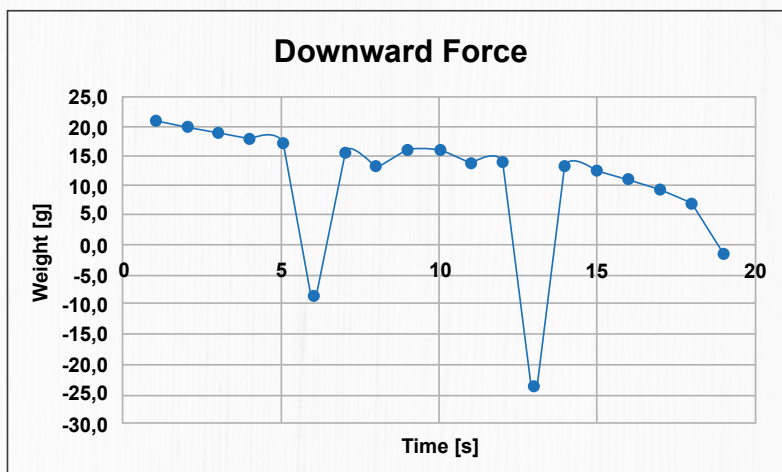
o en los zapatos de los astronautas. Por otra parte, si la fuerza magnética ascendente supera el peso del experimento en la presencia de gravedad reducida, este tendría aplicaciones en la Tierra relacionadas con el principio de levitación.

En este sentido, ¿por qué debe hacerse en microgravedad? Es necesario probar el sistema en microgravedad con la finalidad de verificar la efectividad del experimento. El sistema total ante la presencia de ingravidez tiende a levitar; así, mediante la energía recibida por el sistema se pretende encontrar una fuerza magnética descendente que sea capaz de mantener el sistema inmóvil ante la presencia de ingravidez.

4.2 Recolección de datos

Después de realizar el experimento en el avión Falcon-20, los datos obtenidos por las celdas de carga se registran en las gráficas de las figuras 9 y 10. La figura 9 muestra el promedio ponderado de las fuerzas registradas durante las parábolas 1, 2 y 3. La figura 10 muestra el peso promedio ponderado de las fuerzas registradas durante las parábolas 4, 5 y 6.

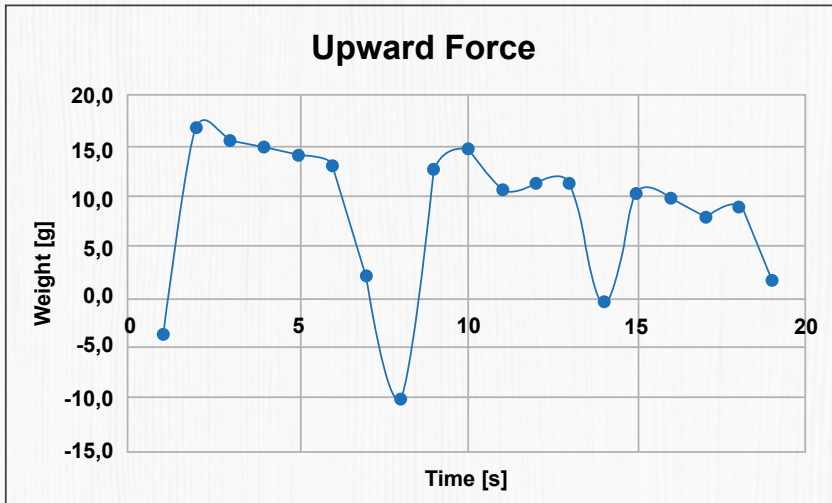
Figura 9. Fuerzas descendentes



Fuente. Elaboración propia.



Figura 10. Fuerzas ascendentes



Fuente. Elaboración propia.

5. Conclusiones

De acuerdo con la información recolectada después del vuelo, es evidente que las celdas de carga registraron fuerzas ascendentes y descendentes, tal como se observa en las figuras 9 y 10. El dispositivo propuesto generó fuerzas magnéticas en un ambiente de microgravedad.

Debido a la tercera ley de Newton, las dos gráficas tienen patrones similares. Durante las fuerzas descendentes, el cable entró en contacto con la celda de carga inferior y generó el resultado que se muestra en la figura 9. Durante las fuerzas ascendentes (véase la figura 10), el cable no entró en contacto con la celda de carga superior, pero los imanes entraron en contacto con la celda de carga inferior debido a la tercera ley de Newton. Para ambos casos, las fuerzas ascendentes y descendentes mantuvieron el sistema inmóvil y no se evidencia aumento en el peso o una fuerza que mueva el dispositivo en contra de la microgravedad.





Durante los 20 segundos que tarda la parábola, una disminución en la fuerza de Lorentz se registra a medida que el tiempo pasa. Esto se debe a la disminución en la potencia de las baterías de 12 V, encargadas de la potencia del sistema.

Dos picos se registran en las figuras 9 y 10, durante los segundos 6 y 14, aproximadamente, generados, probablemente, por golpes externos al dispositivo.

Agradecimientos

Especial agradecimiento al equipo Possum 13 por permitir que este experimento se ejecutara en condiciones de microgravedad, Consejo Nacional de Investigación de Ottawa, Canadá. Agradecimiento especial a Ivanna Margarita Hernández Ramírez por su liderazgo en el equipo.

Referencias

- Masuzawa, T.; Masahiro, O.; Mapley, M. (2018). Motor desing and impeller suspension. En S. Gregory; M. Stevens; Fraser, J. (Eds.) *Mechanical Circulatory and Respiratory Support*. (335-377). Academic Press.
- Pletser, V. (2016). European aircraft parabolic flights for microgravity research, applica-tions and exploration: a review. *Reach*, 1, 11-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.reach.2016.05.002>