

Motor anti-gravitatorio, ¿ MITO O REALIDAD?

Resumen

Se presenta un prototipo de motor anti-gravitacional basado en sistema giratorio capaz de producir un diferencial de fuerza centrífuga en un ángulo determinado. Este diferencial si se produce en sentido opuesto a la fuerza gravitatoria puede producir levitación.

El diferencial de fuerza centrífuga(Fc) de produce mediante un cambio de radio/masa de forma sincronizada con el giro del propio sistema, produciendo un fenómeno de propulsión novedoso que no depende de la atmosfera.

Este sistema acerca a la realidad muchos sueños: vehículos flotantes, ascensores espaciales etc..

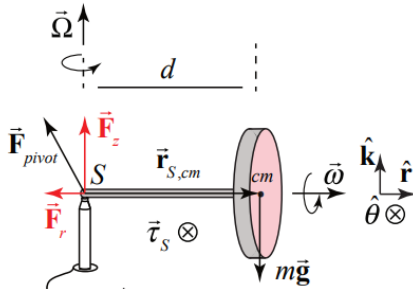
Inspiración

Sin duda hay múltiples videos que explican de manera explícita, como un volante de inercia puede parecer que flota en el espacio.

<https://www.youtube.com/watch?v=GeyDf4ooPdo>

<https://www.youtube.com/watch?v=tLMpdBjA2SU>

Si analizamos de forma breve la formulación física en la que se basa su comportamiento



La razón por la que se mantiene el disco flotando es porque el apoyo de su eje igualas las fuerzas

$$F_z - m \cdot g = 0$$

Es relevante e inspirador como la fuerza inercial muy relacionada con la fuerza centrífuga es capaz de contrarrestar la fuerza gravitatoria, aunque en este caso, lo que se contrarresta es el torque del brazo que lo sustenta, ya que el peso del sistema es soportado por el eje central

Principio Físico básico

En las orbitas de los planetas se produce un conocido equilibrio de fuerzas centrífugas y gravitacionales. La fuerza inercial contribuye también al equilibrio y estabilidad del sistema.

No se profundiza en demostraciones matemáticas, pero si se expone la idea básica:

“para conseguir que algo flote o se aleje de la superficie terrestre =>”

$$F_c(\text{centrifuga}) \geq F_g(\text{gravitatoria})$$

$$F_{\text{centrifuga}}(\text{Newton}) = K g \cdot \frac{\text{rad}}{\text{sg}} \cdot \text{metro} = m_1 \cdot \omega^2 \cdot r$$

$$F_{\text{gravitatoria}}(\text{Newton}) = \frac{kg}{m} = M m \cdot \frac{G}{d^2} = 9,8 \cdot m_2$$

Nótese que en el planteamiento que se hace en este sistema m_1 o “r” va a ser parámetros que va a variar en función del ángulo de giro y que van a producir este diferencial de Fuerza centrífuga.

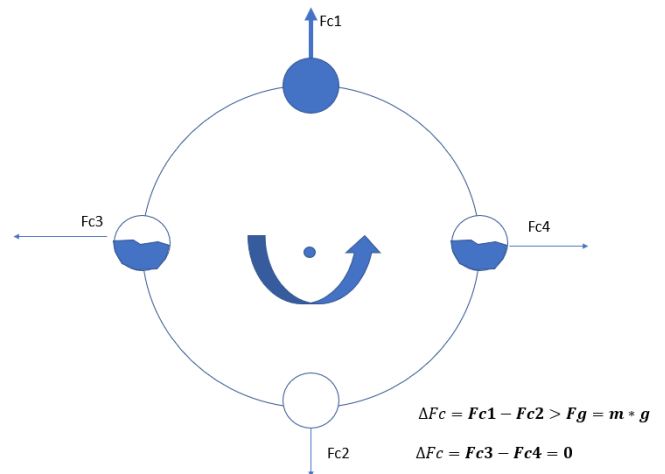
$$m_1(Kg) = \text{masa inercial}$$

$$m_2(Kg) = \text{masa de todo el sistema}$$

$$m_2 > m_1$$

Pues bien, de forma sencilla se plantea la hipótesis de tener un sistema formado por 2 objetos (o un número mayor llamado N) de m_1 colocados de forma simétrica para evitar se produzcan excentricidades al girar sobre un eje.

La idea es que de m_1 cambie su masa en función del ángulo de giro, es decir conseguir una mayor masa en la parte superior (ejemplo: lleno de agua) y que este vacío en la posición inferior.



Si existiera este mecanismo se podría conseguir un incremento de fuerza centrífuga Δf_c que podría compensar/superar la fuerza de gravedad del sistema

$$\Delta F_c = \Delta m_1 \cdot \omega^2 \cdot r$$

$$\Delta F_c \geq F_g$$

Nótese que ante un sistema en el que r es una constante, ω^2 tiene un efecto amplificador(cuadrático) en nuestra ecuación. Es decir aunque la variación de masa Δm_1 sea pequeña, la velocidad de giro ω^2 permitirá incrementar la ΔF_c y acercarnos a la ingravidez.

Puede también plantearse un sistema en el que m_1 sea constante y lo que se varíe sea Δr , se mantiene que ω^2 tiene un efecto amplificador(cuadrático) en nuestra ecuación. Es decir igual que antes aunque la variación de masa Δr sea pequeña, la velocidad de giro ω^2 permitirá acercarnos a la ingravidez.

También el incrementar por N el numero de dispositivos que cambian su masa nos ayudará a este fin

$$\Delta Fc = N * \Delta m_1 * \omega^2 * r$$

$$\Delta Fc = N * \Delta r * \omega^2 * m_1$$

Variación de masa de forma sincronizada

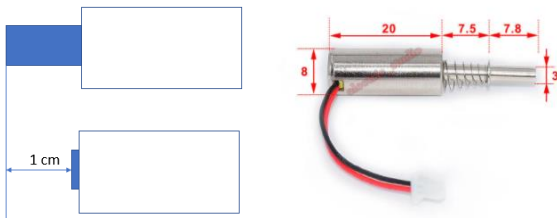
Tomando como base esta idea se plantean los diferentes prototipos implementados en este estudio, así como las limitaciones de algunos de ellos.

Ha sido en esta evolución de prototipos y análisis de sus diferentes limitaciones lo que permite confirmar la viabilidad práctica de esta idea

Prototipo 1: Sistema de émbolo electromagnético activado por impulso eléctrico

Este sistema se basa en un émbolo (pieza metálica) que produce un desplazamiento magnético de masa lineal producido por un electroimán. Este sistema va a producir un Δr y en principio cumple las necesidades planteadas.

Para este prototipo se ha usado en los cálculos $\Delta r = 7.5mm$



Se recuerda el fin de conseguir ΔFc lo más elevado posible y en este caso $m_1 \approx 2gr$ y $(r_2 - r_1) = 7.5mm$. A priori con estos parámetros tan pequeños no parece que vaya a lograrse algún resultado de interés

$$\Delta Fc = m_1 * \omega^2 * (r_2 - r_1)$$

Existe sin embargo ω^2 como factor multiplicador, si giramos este sistema muy rápido amplificaremos de forma cuadrática ΔFc

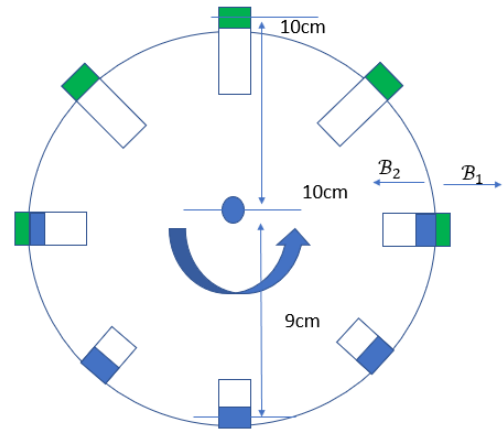
Por ejemplo, con velocidad de 1800 rpm (30 vueltas segundo) y estimamos un peso total del sistema de 400 gramos (incluyendo baterías etc...)

$$\Delta Fc = 0.002 * \left(\frac{1800}{60} * 2\pi\right)^2 * 0.0075 = 0.53 N$$

$$Fg = 9.8 * 0.4 = 3.92 N$$

Se puede incrementar el resultado con 8 émbolos ubicados de forma simétrica con lo que habríamos conseguido nuestro primer motor anti gravitatorio al superarse el peso del sistema

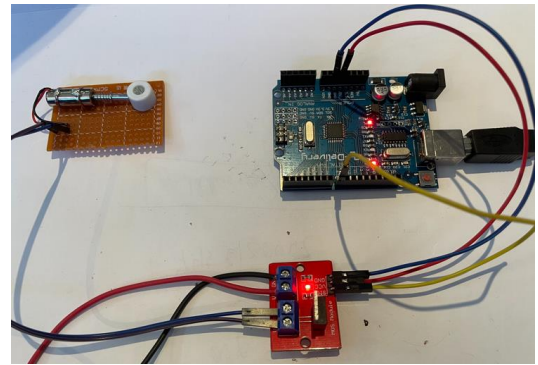
$$8 * \Delta Fc = 4.24 N > Fg = 3.92 N$$



Si bien el sistema es teóricamente viable, resulta que a nivel práctico no lo es. La velocidad de 1800 rpm (30 Hz) no es posible para un émbolo, la inercia del pistón y la elongación del muelle lo impiden, por ejemplo igual que pedir a un altavoz de graves funcione a 1kHz.

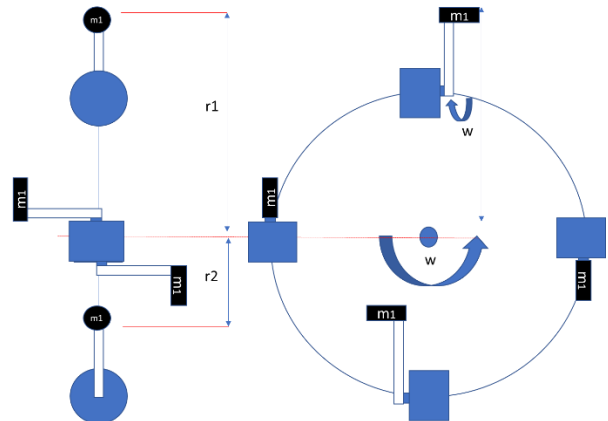
Esta limitación hace inviable este prototipo, pues es imprescindible que el movimiento del émbolo esté sincronizado con el giro del sistema.

Además, surge un problema adicional al estar basado el émbolo en un electroimán, el calentamiento del solenoide y el alto consumo energético invalidan también esta solución.



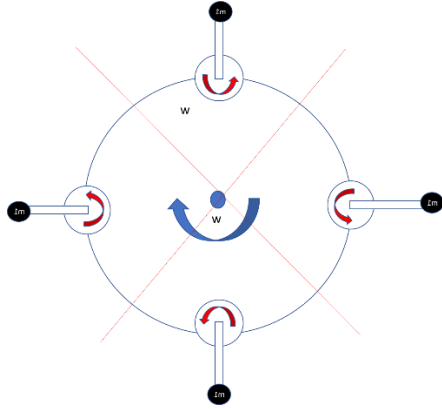
Prototipo 2: Sistema con motores paso a paso

La idea de este nuevo prototipo ha sido sustituir el pistón por un motor paso a paso (**motor inercial**) que gire de forma sincronizada al **motor de tracción** y nos produzca el efecto de cambio de radio Δr en función de su posición angular. Esta idea elimina los inconvenientes inerciales del pistón pues el desplazamiento se basa en un sistema rotatorio.

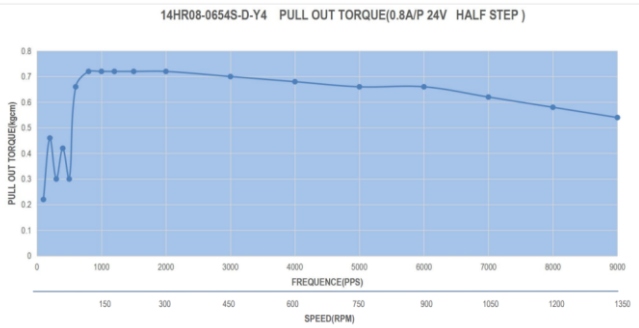


En este caso la idea es que el motor "inercial" gire a la misma velocidad del sistema ω^2 , ambas podrán ser ajustadas.

Algo que se ha aplicado de manera lógica es colocar los motores de forma ortogonal al giro del sistema para evitar la influencia de la fuerzas adicionales del propio giro del motor inercial .



En este sistema se puede ajustar m_1 y Δr a medida, sin perder de vista que el torque del motor debe permitirlo. Una limitación a tener en cuenta es que en los motores paso-paso el torque de giro disminuye con la velocidad ω^2 .



El primer reto para conseguir la viabilidad del sistema es encontrar motores paso-paso ligeros para disminuir en lo posible m_2 .

Se ha encontrado el **28BYJ-48** que es un motor paso a paso unipolar de un torque excelente y ligero, pero con un gran inconveniente la velocidad máxima es 17rpm (una vuelta cada 4 segundos), insuficiente para conseguir compensar la Fg

28BYJ-48 – 5V Stepper

Rated voltage :	5VDC
Number of Phase	4
Speed Variation Ratio	1/64
Stride Angle	5.625°/64
Frequency	100Hz
DC resistance	50Ω±7%(25°C)
Idle In-traction Frequency	> 600Hz
Idle Out-traction Frequency	> 1000Hz
In-traction Torque	>34.3mN.m(120Hz)
Self-positioning Torque	>34.3mN.m
Friction torque	600-1200 gf.cm
Pull in torque	300 gf.cm
Insulated resistance	>10MΩ(500V)
Insulated electricity power	600VAC/1mA/1s
Insulation grade	A
Rise in Temperature	<40K(120Hz)
Noise	<35dB(120Hz, No load, 10cm)
Model	28BYJ-48 – 5V

Aun así, se decide continuar con este motor, viene el kit con el driver ULN2003, con lo que se facilita la rápida implementación, de esta forma se podrá avanzar en el diseño la estructura y al software de control.

Realizando unos cálculos iniciales el motor va a permitir velocidades de $w=17 \text{ rpm}$, pero soportará mover $m_1 = 9 \text{ gr}$ con un brazo de 4.5 cm produciendo un $\Delta r = (r_2 - r_1) = 9 \text{ cm}$, la masa total del sistema será $m_2 = 600 \text{ gr}$ que incluye el Esp32 y una batería de 7,2v/3000mAh de litio (2 cell)

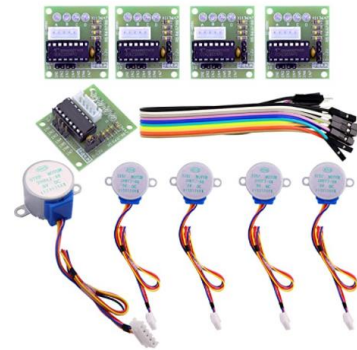
$$\Delta Fc = 0.009 * \left(\frac{17}{60} * 2\pi\right)^2 * 0.09 = 0.0026 \text{ N}$$

$$Fg = 9.8 * 0.6 = 5.88 \text{ N}$$

Aun en el mejor de los casos poniendo 4 motores no se logrará el equilibrio de fuerzas.

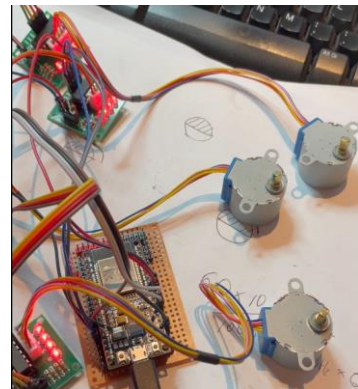
$$4 * \Delta Fc = 4 * 0.002 = 0.008 \text{ N} < 7.84 \text{ N}$$

El sistema es inviable por su baja velocidad, este motor está diseñado para ser usado en brazos robóticos, tiene baja velocidad, alta precisión y un torque de (300g/cm), que se consigue con reducción del giro mediante engranajes 1/64.



Aun siendo no viable es de interés hacer el prototipo y explorar otros posibles problemas de diseño. El sistema de control debe formar parte del sistema de giro :

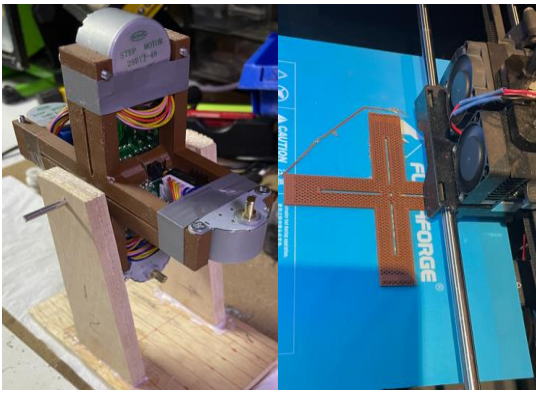
- la electrónica de control (Rx), un procesador Esp32 (con interfaz wifi)
- batería de litio 7,5v/3000mAh
- drivers de los 4 motores paso a paso



Es por tanto necesario conectar los motores paso a paso en modo esclavo para que giren todos de forma sincronizada. Las pruebas conectando en paralelo las señales de control (In1, In2, In3, In4) que salen del ESP32 a los drivers de los 4 motores dan resultados satisfactorios.

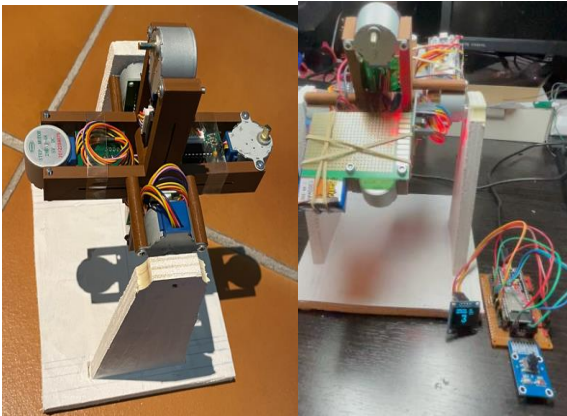
ULN2003



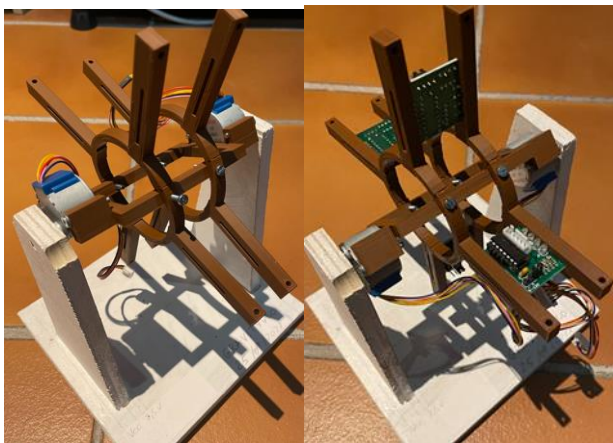


Inicialmente se plantea para este prototipo que el sistema gire con un motor externo, pero dejaría de cumplir la premisa de ser autónomo. Así pues, se crea un nuevo diseño en el que puedan colocarse dos motores adicionales en el sistema que proporcionen el giro principal.

Se añade con este nuevo planteamiento el peso de 2 nuevos motores y 2 nuevos drivers que girarán también junto al sistema



En el momento de esta nueva implementación se descubre un grave error de diseño, la batería (200gr) debe tener una ubicación en el centro de giro del sistema para que no existan excentricidades que perjudiquen el giro del sistema principal.



Una vez completada la nueva estructura física que soluciona los problemas comentados, es necesario conseguir control de velocidad fiable, basada en un telemando externo (Tx) que permita controlar la velocidad del sistema (Rx).

Para este software de control, se ha utilizado la plataforma Arduino con la funcionalidad FreeTOS que permite usar dos procesos paralelos en tiempo real sin retardos:

- recibir comandos del TX

- dar instrucciones de movimiento al motor, que recordamos debe ser síncrona. Varía en función de la velocidad, pero puede ser necesario una señal cada 100 us(

Prototipo 3: Sistema con motores paso a paso de mayor velocidad

En este nuevo prototipo se plantea llegar a una sistema viable con un motor de mayor velocidad pero ligero(52gr), el motor bipolar **YK36BYG12** anuncia velocidades cercanas a 500rpm parece ser buen candidato.

Especificación:

1. Diámetro del Motor: 36,27mm
2. Altura del Motor: 13,4mm
3. Diámetro del eje de salida: 3,5mm
4. Longitud del eje de salida: 9mm
5. Engranaje de cobre: 9,8mm * 5mm
6. Dientes del engranaje: 12 dientes
7. Ángulo de paso: 0,9 grados
8. Resistencia de fase: 20 ohmios
9. Peso: 52g

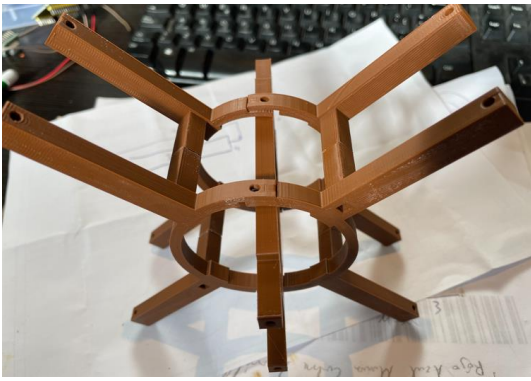
Es necesario usar un nuevo tipo de drivers exclusivo para motores bipolares A4988. Este driver tiene grandes ventajas como el uso de niveles lógicos de 3v3 que le hace compatible con el Esp32. Así mismo soporta rango de tensiones de control amplio aunque en este prototipo está limitado por la tensión de la batería a 7.5v



Modelo	A4988
Color	Verde o Rojo
Intensidad máxima	2A
Tensión máxima	35V
Microsteps	16
Rs típico	0.05, 0.1 o 0.2
Fórmulas	$I_{max} = V_{ref} / (8 * R_s)$ $V_{ref} = I_{max} * 8 * R_s$



Tras la implementación práctica se determina que va a permitir velocidades de $w=250$ rpm con el torque necesario de mover un peso de 9 gramos , $m_1 = 9$ gr y $\Delta r = (r_2 - r_1)=9$ cm, $m_2 = 800$ gr

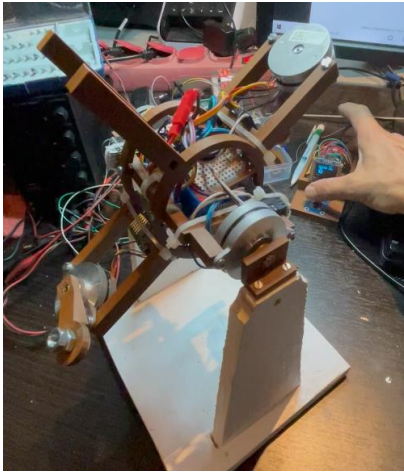


A pesar del incremento de velocidad, los cálculos demuestran que va a ser insuficiente para conseguir ingravidez incluso con 4 motores inerciales

$$\Delta F_c = 0.009 * \left(\frac{250}{60} * 2\pi\right)^2 * 0.09 = 0.55 N$$

$$F_g = 9.8 * 0.8 = 7.84 N$$

$$4 * \Delta F_c = 4 * 0.55 = 2.22 N < 7.84 N$$



Se calcula y determina que bastaría con duplicar esa velocidad a $w=500\text{rpm}$, para lograr la ingravidez.

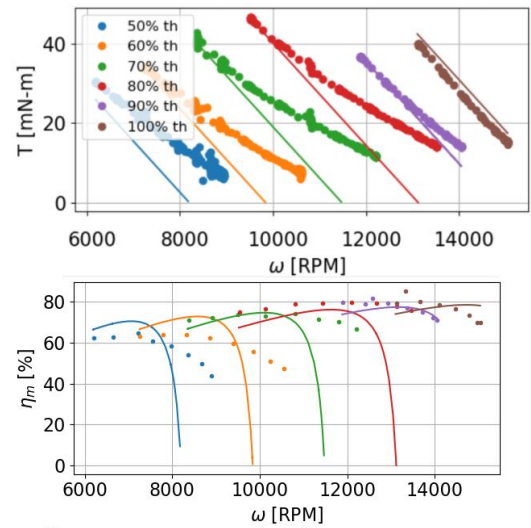
$$\Delta F_c = 0.009 * \left(\frac{500}{60} * 2\pi\right)^2 * 0.09 = 2.22 N$$

$$F_g = 9.8 * 0.8 = 7.84 N$$

$$4 * \Delta F_c = 4 * 2.22 = 8.88 N > 7.84 N$$

Planteamientos de mejora de este sistema

El pasar a motores brushless de mayor velocidad presenta como principal problema la imposibilidad de sincronización. Además, se presenta el mismo problema de que el torque también se ve reducido cuando la velocidad es incrementada



Conclusiones

El reto tecnológico esta sobre la mesa, la física demuestra que el sistema es viable, es sin embargo necesario conseguir motores paso a paso ligeros de mayor velocidad y que se mantenga o supere el torque.

El objetivo final de este análisis es motivar a los miembros del IEEE a que siguiendo esta idea básica mejoren el sistema. ¡Seguro que entre todos lo conseguimos!



Carlos Garcia Bayón es ingeniero de Telecomunicaciones Spain, apasionado por la tecnología