

# Propuesta Memorias de Título

## Laboratorio Electrónica Potencia USACH

**RT Electronics**  
RT Electronics Chile Av. Merced 838-A, Oficina N°117  
(+56) 22 832 0175 - (+56 9) 9312 4361  
[contacto@rtelectronics.cl](mailto:contacto@rtelectronics.cl) / [www.rtelectronics.cl](http://www.rtelectronics.cl)



## 1. Contexto

Los altos costos de materias primas para motores eléctricos han intensificado la investigación sobre su miniaturización. Sin embargo, para obtener niveles de potencia útiles desde estos micromotores, éstos deben rotar a alta velocidad ( $v_{tan} > 80 \text{ m/s}$ ).

Esto representa un creciente desafío a nivel mecánico. Los clásicos rodamientos mecánicos de alta velocidad se perfilan como una opción limitada, dada su limitada vida útil, altos costos y pérdidas por frotamientos. Además, las limitaciones de la manufactura de pequeña escala geométrica hacen que efectos dinámicos propios de altas velocidades sean críticos y sobre exijan el ensamblaje mecánico.

Dados las previas dificultades, los rodamientos magnéticos (o levitación magnética contactless) se perfilan como excelente alternativa para ser implementados en micromotores. Su extensísima vida útil, su ausencia de pérdidas por frotamiento y su capacidad de compensar efectos dinámicos de alta velocidad prevalecen ante los actuadores adicionales que son necesarios y el anillo de control y sensores que éstos necesitan.

Una de las áreas donde la miniaturización y vida útil son primordiales es la ingeniería aeroespacial. En este campo, motores eléctricos son utilizados para controlar -al interior de una nave espacial- la orientación angular de un pod espacial en tres grados de libertad. Actualmente, este problema es solucionado desplegando motores que giran hasta  $\sim 10 \text{ krpm}$ . No obstante, el factor limitante de estos es su lubricación (difícil a baja presión atmosférica / vacío) y por ende su vida útil. Ha sido estudiado que achicando los actuadores y rotando a velocidades más altas, se puede aumentar el desempeño por peso (momento angular / kg) de actuador que es enviado al espacio; a pesar del peso que implica la implementación de un eje magnético.

Dentro este contexto, se ofrecen las siguientes posibilidades de investigación

## 2. Propuesta 1: Implementación de rodamientos magnéticos

En este trabajo, se prevé construir dos etapas de hardware que permitan levitar un rotor alargado (largo  $< 30$  cm) por sus dos extremos, y adicionalmente, su posición axial. Para esto, los componentes electromagnéticos (electroimanes, materiales ferromagnéticos y/o imanes), su control y electrónica serán estudiados, para culminar en su puesta en servicio y caracterización electromagnética.

Las tareas se dividirán, aproximadamente, en 20% literatura, 20% simulación, 20% construcción y 40% puesta en servicio.

### 3. Propuesta 2: Dimensionamiento de motor de alta velocidad (~20 krpm)

Esta propuesta apunta hacia la optimización de un micromotor con rodamientos magnéticos. Pensando en velocidades cercanas a 20 krpm, será necesario un estudio sobre las diferentes topologías y construcciones electromecánicas (# de par de polos, # slots, etc) que posibilitan superar esta barrera.

Paralelamente, los fenómenos mecánicos de altas velocidades deben ser estudiados, para así determinar las dimensiones mecánicas que el actuador puede tener.

Una vez elegida la topología y la talla del rotor, parámetros propios del desarrollo de ejes magnéticos deben ser estudiados (i.e. fuerzas pasivas vs. mecánicas), para aumentar su controlabilidad.

Planteamientos analíticos, respaldados por simulaciones computacionales ayudarán a cuantificar las indicaciones de la literatura. Es así como las tareas se dividirán en 30% literatura, 20% modelación, 30% simulación y 20% optimización.

#### 4. Propuesta 3: Integración mecánica de componentes para Flywheel espacial

La ingeniería aeroespacial se esmera por maximizar el output de cada gramo de tecnología enviado al espacio. En el contexto de los flywheels espaciales, es importante aumentar el momento lineal del rotor, teniendo en cuenta que éste debe ser ligero y resistir altas velocidades. En este modo, se aumenta la controlabilidad de un satélite.

Con este objetivo en mente, los componentes de un microrotor (diámetro < 20 mm) de un motor eléctrico (i.e. imanes, hierro) deben ser integrados con materiales más densos y/o resistentes, como anillos de acero, etc. Técnicas para aumentar la resistencia de materiales, como la compresión del rotor a través anillos de titanio o de acero, pueden extender los límites de velocidad y permitir un mejor usufructo del material.

Se propone comenzar con un estudio de literatura, para posteriormente dedicar tiempo a modelos analíticos simplificados. Después, se espera que estos sean apoyados por simulaciones computacionales, para así converger hacia la construcción de dos prototipos de rotor. Se espera que el tiempo se divida en 20% estudio de literatura, 25% modelación, 15% simulación y 40% en construcción y caracterización.

## 5. Bibliografía

1. Schweitzer, Gerhard and E. H. Maslen, *Magnetic Bearings*. 2009.
2. B. A. Steele, "DESIGN OF A LORENTZ, SLOTLESS SELF-BEARING MOTOR FOR SPACE APPLICATIONS," University of Kentucky.
3. T. Schneider and A. Binder, "Design and Evaluation of a 60 000 rpm Permanent Magnet Bearingless High Speed Motor," in 2007 7th International Conference on Power Electronics and Drive Systems, 2007, pp. 1–8.
4. A. Looser, T. Baumgartner, C. Zwyssig, and J. W. Kolar, "Analysis and measurement of 3D torque and forces for permanent magnet motors with slotless windings," 2010 IEEE Energy Convers. Congr. Expo. ECCE 2010 - Proc., pp. 3792–3797, 2010.
5. M. H. Kimman, "Design of a Micro Milling Setup with an Active Magnetic Bearing Spindle," TU Delft, 2010.
6. C. Zwyssig, T. Baumgartner, and J. W. Kolar, "High-speed magnetically levitated reaction wheel demonstrator," in 2014 International Power Electronics Conference (IPEC-Hiroshima 2014 - ECCE ASIA), 2014, pp. 1707–1714.
7. J. Asama, D. Watanabe, T. Oiwa, and A. Chiba, "Development of a one-axis actively regulated bearingless motor with a repulsive type passive magnetic bearing," 2014 Int. Power Electron. Conf. IPEC-Hiroshima - ECCE Asia 2014, pp. 988–993, 2014.
8. M. Kaufmann, A. Tuysuz, J. W. Kolar, and C. Zwyssig, "High-speed magnetically levitated reaction wheels for small satellites," 2016 Int. Symp. Power Electron. Electr. Drives, Autom. Motion, SPEEDAM 2016, pp. 28–33, 2016.