

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El descubrimiento, en 1986, de superconductividad en el sistema Ba La Cu O por encima de los 40 K <sup>[Müller]</sup>, dio pie a un nuevo empuje en la búsqueda de materiales superconductores entre los materiales cerámicos, consiguiéndose al poco tiempo <sup>[Lucent]</sup> materiales superconductores a temperaturas superiores a los 77 K, la barrera tecnológica del nitrógeno líquido. Esta nueva familia de superconductores llamados superconductores de alta temperatura ha incrementado las expectativas de aplicación mostrando un enorme potencial de utilización en el campo de la industria y en los mercados de la electricidad, la electrónica y el magnetismo.

Desde entonces, numerosos investigadores en todo el mundo dedican su esfuerzo, tanto a mejorar el conocimiento teórico como a desarrollar aplicaciones prácticas de estos materiales, creando una nueva tecnología. Esta nueva tecnología abarca prácticamente todos los aspectos del conocimiento, pero exige trabajar en equipos fuertemente interdisciplinarios formados por físicos, químicos, ingenieros, matemáticos. etc., a menudo, con ubicaciones geográficas dispersas. Aunque el potencial es enorme, la materialización de aplicaciones requiere de cierta maduración que, poco a poco, se manifiesta en campos que no están en competencia con tecnologías más clásicas.

Actualmente los superconductores han salido ya del ámbito de los laboratorios para introducirse en el mercado y las empresas. Podemos distinguir 4 grandes sectores:

- Electrónica (27%)
- Instrumentación médica y científica.(31%)
- Procesos industriales (13%)
- Energía eléctrica y transporte (29%)

El sector de energía eléctrica y transportes, en el que se puede englobar el presente trabajo, ha experimentado un importante crecimiento <sup>[Montgomery]</sup>. La panorámica actual se puede resumir en los siguientes logros:



Figura 1.1: Demostrador de tren levitante construido en el ICMAB

-Transportes, con demostradores construidos en países como Japón, Alemania y la misma España.

-Conductores, con densidades de corriente de  $300.000 \text{ A/cm}^2$  con Nb-Ti enfriado con He-I en un campo de  $5 \text{ T}$  [Grant].



Figura 1.2: Demostrador de sistema de almacenamiento de energía construido en el ICMAB

-Sistemas de almacenamiento de energía (SMES). Se han logrado almacenar del orden de  $50 \text{ MJ}$ . Aunque el umbral de rentabilidad para sistemas fijos se sitúa en algunos  $\text{GWh}$  [Scherbart], en la actualidad son comerciales sistemas móviles para compensaciones que requieren poca energía.

-Limitadores de corriente. Como ejemplo citaremos un limitador para una línea de 6600V y 400 A nominales, con 12,5 kA de corriente de cortocircuito con capacidad para reaccionar en los tres ciclos posteriores al cortocircuito <sup>[Kado]</sup>, o prototipos de 400 kVA <sup>[Obradors]</sup>.

-Motores eléctricos. Se han construido máquinas con cables superconductores y bloques de material cerámico. En el capítulo 4 pueden verse ejemplos de las más representativas.

A pesar del esfuerzo que se viene realizando, todavía se plantean muchos retos por superar tanto desde el punto de vista teórico como en el mundo de las aplicaciones. Este trabajo es un eslabón más de la gran cadena. Trata de la aplicación práctica de los superconductores en el mundo de los motores eléctricos.

Los motores eléctricos basan su funcionamiento en la interacción de campos magnéticos y corrientes eléctricas. Los materiales superconductores pueden crear grandes campos magnéticos y conducir fuertes densidades de corriente con pocas pérdidas. Es por ello que, desde su descubrimiento, se ha pensado en ellos como materiales de elección en los motores del futuro. Además, su capacidad de levitar de forma estable interactuando con un imán permanente, invita a pensar en rotores sin cojinetes mecánicos que producen pérdidas, limitan la velocidad de los motores y son la causa de frecuentes intervenciones de mantenimiento.

Se han usado materiales superconductores para construir motores eléctricos cuyo objetivo es mejorar diversas características de los mismos, como su rendimiento o su potencia por unidad de masa. El presente trabajo focaliza la atención en motores que leviten y, por lo tanto, sin cojinetes mecánicos.

Se pretende mostrar la viabilidad del empleo de materiales superconductores para construir motores cuyo rotor levite. En este estudio, se han analizado, construido y caracterizado motores con geometrías de flujo radial y flujo axial, al objeto de conocer mejor el comportamiento de la interacción entre el campo creado por el inductor y el rotor superconductor.

Se presentan los resultados y se justifica la viabilidad del motor diseñado, así como de las modificaciones que incrementarán sus prestaciones y su rendimiento. Entre ellas destacamos la posibilidad de construir motores sin núcleo de hierro.

Este documento contiene una explicación de los fundamentos teóricos, simulaciones y prototipos montados para conseguir los objetivos marcados. Los siguientes cinco capítulos constituyen aproximaciones al binomio motor-superconductor.

El capítulo 2 contiene un estudio de las principales ecuaciones del electromagnetismo y una introducción a los materiales superconductores, que se comparan con los imanes permanentes utilizados en la máquinas eléctricas.

En el mundo de la ingeniería eléctrica, se conocen los motores eléctricos, pero en general, no se tiene mucha información sobre los materiales superconductores. Por ello se ha dedicado el capítulo 3 a su descripción. Existen numerosas publicaciones que han aparecido recientemente, que contienen rigurosos estudios sobre la termodinámica de la superconductividad <sup>[Zemansky]</sup> o la teoría cuántica microscópica (BCS) <sup>[Barden]</sup>, efectos que en ese marco son interpretados, como el efecto Josephson en su aplicación más directa, el SQUID. En nuestro caso se ha llevado a cabo esta descripción desde el punto de vista de la ingeniería, haciendo hincapié en las propiedades de los materiales superconductores, de su magnetización y de las fuerzas que se producen entre imanes y superconductores, que nos introducirán en el concepto de la levitación.

El capítulo 4 contiene una versión resumida de lo que se puede considerar “estado del arte”, o sea, de los motores que se han construido con materiales superconductores. Para ello hemos elegido, para cada tipo de motor, aquel que nos ha parecido más representativo y hemos descrito su constitución.

Los capítulos 5 y 6 constituyen la parte final del trabajo y están dedicados exclusivamente a los motores que se han construido en el ICMAB. El capítulo 5 está dedicado a la descripción del motor levitante de flujo radial. Constituye una ampliación de lo que se expuso en proyecto de final de carrera de Isabel Márquez <sup>[Márquez]</sup>, quien colaboró en la caracterización del motor que se estudia. Al motor de flujo axial se

dedica el Capítulo 6. Se describen las consideraciones de carácter teórico, las simulaciones y los resultados de las medidas que constituyen su caracterización, así como propuestas para mejorar futuros prototipos. Por fin, se presentan las medidas efectuadas sobre un nuevo modelo que constituye una aproximación al motor sin núcleo de hierro.

