

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS

AERONÁUTICOS



PROYECTO FIN DE CARRERA

INFLUENCIA DEL CAMPO MAGNÉTICO Y
LA EROSIÓN EN PARED EN MOTORES DE
EFECTO HALL.

Alfredo Miguel Antón Sánchez

Tutor: Eduardo Ahedo Galilea

26 de octubre de 2006

Índice general

1. Introducción. Propulsión Espacial Eléctrica.	11
1.1. Propulsión Espacial Eléctrica.	11
1.2. Justificación tecnológica.	15
1.3. Motores de Efecto Hall	19
2. Generación del campo magnético. MaxwellTM SV.	23
2.1. Circuito magnético. Elementos.	24
2.1.1. Campos magnéticos en motores de efecto Hall	25
2.1.2. Efecto de bobinas y pantallas magnéticas.	29
2.2. Modelos de Circuitos Magnéticos.	34
2.2.1. Modelo SPT-100	34
2.2.2. Modelo Mi-H30	35
2.2.3. Modelo MIT	36
2.3. Campo magnético del Centropazio HET5Kw.	37
3. Código de Simulación HPHall-2.	41
3.1. HPHall-2. Generalidades.	42
3.1.1. Axilsimetría - Modelo 2D	42
3.1.2. Campo magnético cuasi-estacionario	43
3.1.3. Cuasineutralidad	44

3.2. Modelo de partículas pesadas. Iones y Neutros.	45
3.2.1. Movimiento partículas.	46
3.2.2. Proceso de Pesado.	48
3.2.3. Condiciones de contorno.	53
3.2.4. Colisiones	58
3.3. Modelo de electrones.	66
3.3.1. Ecuaciones.	67
3.3.2. Interacción en pared.	81
3.3.3. Métodos de resolución de las ecuaciones	87
3.4. Acoplamiento PIC y fluido	90
4. Implementación de mejoras en el código HPHall-2.	93
4.1. Pesado superficial en contornos.	93
4.2. Modificación del método shooting.	95
4.3. Modelado del cátodo y región exterior	97
4.3.1. Problemas encontrados.	102
4.4. Estimación y Reducción de errores.	105
4.5. Chequeo de hipótesis del código.	108
5. Simulaciones con el Centropazio HET5Kw.	111
5.1. Ajustes previos. Adaptación al experimental.	113
5.1.1. Ajuste de la difusión anómala.	113
5.1.2. Ajuste de la posición del cátodo.	116
5.1.3. Ajuste de la acomodación en pared.	117
5.2. Resultados operación nominal.	119
5.3. Influencia del potencial de descarga.	132
5.4. Influencia del campo magnético.	138

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	3
5.4.1. Variación de la Topología.	140
5.4.2. Variación de la intensidad.	143
5.5. Otros estudios paramétricos.	146
5.5.1. Gasto másico.	146
5.5.2. Longitud del canal.	148
5.6. Descarga no Estacionaria. Oscilaciones.	151
6. Erosión de la Cámara.	155
6.1. Revisión bibliográfica	160
6.1.1. Determinación experimental del <i>Sputtering Yield</i>	160
6.1.2. Comparación de los resultados experimentales.	168
6.1.3. Modelos teóricos y semiempíricos de <i>Sputtering Yield</i>	172
6.1.4. Resultados experimentales en motores de efecto Hall.	177
6.2. Modelo detallado de erosión	190
6.3. Efectos de la erosión en las actuaciones.	196
6.3.1. Efecto del campo magnético.	202
7. Conclusiones.	205
7.1. Objetivos alcanzados	207
7.2. Futuras Mejoras.	209
A. Artículos Publicados	219