

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS

AERONÁUTICOS



PROYECTO FIN DE CARRERA

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE LA

DESCARGA DE PLASMA EN UN

PROTOTIPO DE MOTOR HALL

Ignacio Maqueda Jiménez

Tutor: Eduardo Ahedo Galilea

2 de noviembre de 2007

Índice general

1. Introducción	9
1.1. Propulsión Espacial Eléctrica	9
1.2. Motores de efecto Hall	14
2. El código HPHall-2	19
2.1. Generalidades	19
2.2. Procesado de las mallas	21
2.3. Sistemas de coordenadas	22
2.4. Modelo de partículas.	26
2.4.1. Movimiento de las partículas.	27
2.4.2. Pesado de las variables	28
2.4.3. Colisiones	31
2.4.4. Inyección de Masa	35
2.4.5. Paredes Cerámicas y metálicas	35
2.5. Modelo de electrones	37
2.5.1. Ecuaciones fluidas	38
2.5.2. Ecuaciones Unidimensionales Equivalentes	47
2.5.3. Interacción plasma-pared	50

3. Simulaciones con el motor PPPL de 2 kW	59
3.1. El motor de 2 kW del PPPL	59
3.1.1. Medidas experimentales	61
3.1.2. Integración de los datos en HPHall-2	62
3.2. Simulaciones a potencial constante	64
3.2.1. Mapas bidimensionales	64
3.2.2. Gráficas unidimensionales	66
3.2.3. Influencia del potencial de descarga	70
3.2.4. Influencia del campo magnético	75
3.2.5. Influencia del parámetro de difusión anómala	77
3.2.6. Comparación con medidas experimentales	78
3.3. Simulaciones a potencia constante	80
3.3.1. Comparación con medidas experimentales	81
3.3.2. Objetivos del Proyecto. Definición del caso base	85
4. Modelo de transporte anómalo de electrones	87
4.1. Difusión turbulenta	87
4.2. Modelización en HPHall-2	89
4.3. Análisis de los modelos de turbulencia recientes	91
4.3.1. Modelo de dos movilidades	92
4.3.2. Modelo de <i>quenching</i> o supresión local de la turbulencia	96
4.4. Calentamiento debido al transporte anómalo	99
5. Modelo de interacción plasma-pared	103
5.1. Modelo de termalización parcial	103
5.1.1. Saturación de carga	108
5.2. Simulaciones con el nuevo modelo	109

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	3
5.2.1. Resultados del subcódigo de vaina	109
5.2.2. Resultados del modelo en HPHall-2	114
6. Modelo de cátodo volumétrico	119
6.1. Descripción del modelo	119
6.2. Simulaciones en el PPPL2kW	124
7. Conclusiones	131
A. Artículos publicados	139