

PROYECTO FIN DE CARRERA
“ANÁLISIS DE UN MINI-MOTOR DE EFECTO HALL
DE 100 VATIOS”

Adriana Fdez. de Retana García

Dirigido por: Eduardo Ahedo Galilea

E.T.S.I. Aeronáuticos, Universidad Politécnica, Madrid

26 de octubre de 2004

Índice general

1. EL MOTOR DE EFECTO HALL	15
1.1. Configuración del sistema	15
1.1.1. Funcionamiento del motor	15
1.1.2. Descripción del motor y subsistemas	20
1.2. El Minimotor de efecto Hall	22
1.2.1. Revisión histórica de prototipos de baja potencia	24
1.2.2. Diseño	25
1.2.3. Actuaciones de motores de baja potencia	31
1.2.4. Problemas tecnológicos y de operación	33
1.3. Objetivos del proyecto	36
2. MODELO DE DESCARGA DEL PLASMA	37
2.1. Ecuaciones generales macroscópicas	38
2.2. Modelo 2D	40
2.2.1. Campo magnético	40
2.2.2. Cuasineutralidad	41
2.2.3. Ecuaciones para electrones	42
2.2.4. Ecuaciones para iones y partículas neutras	57
2.3. Colisionalidad	58
2.3.1. Intercambio de cantidad de movimiento	58

2.3.2.	Intercambio de carga	58
2.3.3.	Recombinación	58
2.3.4.	Ionización	59
2.3.5.	Ionización de segundo grado	60
2.4.	Modelo del ánodo	60
2.5.	Modelo del cátodo	62
2.6.	Resumen de ecuaciones y condiciones de contorno	62
2.6.1.	Campo magnético	62
2.6.2.	Ecuaciones para electrones	63
2.6.3.	Ecuaciones para iones y partículas neutras	64
2.7.	Definición de empuje y rendimientos	65
2.7.1.	Eficiencia de utilización de la corriente	69
2.7.2.	Eficiencia de utilización de propulsante	69
2.7.3.	Eficiencia energética	70
2.7.4.	Eficiencia global	72
2.8.	Modelo numérico	73
3.	ESCALADO DESDE POTENCIA MEDIA A POTENCIA BAJA	77
3.1.	Escalado Ideal	78
3.2.	Escalado Radial	82
3.3.	Escalado Universal	84
3.4.	Comparación de técnicas de escalado	86
3.5.	Aplicación: Prediseño de un minimotor de efecto Hall desde SPT-70.	88
3.6.	Resultados del escalado a partir del SPT-70	90
3.6.1.	Escalado Radial	90
3.6.2.	Escalado Intermedio	96
3.6.3.	Escalado Ideal	100

4. EL MOTOR Mi-H30	105
4.1. Descripción de la geometría del motor	106
4.2. Topología del campo magnético	108
4.2.1. Circuito magnético	108
4.2.2. Gradiente axial de campo magnético radial	108
4.3. Parámetros nominales de operación	110
4.4. Simulación bidimensional con código híbrido PIC-fluido	112
4.4.1. Introducir la malla	112
4.4.2. Introducir el campo magnético	115
4.4.3. Parámetros de entrada	117
4.4.4. Resultados	120
5. PROCESO DE DISEÑO	127
5.1. Análisis de los parámetros de diseño	127
5.1.1. Influencia de la intensidad de campo magnético	128
5.1.2. Influencia del potencial de descarga	130
5.1.3. Influencia del gasto másico	135
5.1.4. Influencia de la posición del ánodo	140
5.1.5. Influencia de la semianchura del canal de aceleración	144
5.1.6. Influencia del material de la cámara	147
5.2. Conclusiones	155
6. DISEÑO DE SUBSISTEMAS	163
6.1. Subsistema generador del campo magnético	163
6.2. Cátodo	167
6.3. Subsistema de almacenamiento y suministro de propulsante	170
6.3.1. Tanque de almacenamiento del xenón	170
6.3.2. Regulador de presión	171

6.4. Controlador de flujo	172
6.4.1. Válvulas de aislamiento	174
6.4.2. Regulador de flujo	174
6.4.3. Pasos calibrados de flujo	176
6.5. Unidad de proceso de potencia	177
6.6. Unidad de filtrado eléctrico	180
6.7. Conectores	181
7. INTEGRACIÓN DEL MOTOR EN EL VEHÍCULO ESPACIAL	183
7.1. Integración estructural	184
7.2. Integración en el subsistema de control térmico	187
7.3. Integración en el subsistema eléctrico	191
7.4. Integración con otro subsistema de propulsión	194
7.5. Interferencias electromagnéticas	195
7.6. Interferencia del chorro con los elementos del vehículo espacial	196
7.7. Otros Efectos	197