

PROYECTO FIN DE CARRERA
“MOTOR DE PLASMA DE EFECTO HALL DE 4
KILOVATIOS”

Juan Manuel Gallardo Antolín

Dirigido por: Eduardo Ahedo Galilea


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

4 de septiembre de 2002

Índice general

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Revisión histórica	5
1.2. Configuración del sistema	7
1.2.1. Descripción del motor. Clasificación.	8
1.2.2. Funcionamiento básico del motor	12
1.3. Problemas tecnológicos	15
1.4. Características y comparación de prototipos	18
1.5. Objetivos del proyecto	20
2. ESPECIFICACIONES INICIALES	21
2.1. Análisis de misión	22
2.1.1. Definición de la misión	22
2.1.2. Maniobra impulsiva	23
2.1.3. Maniobra de bajo empuje	24
2.1.4. Optimización del sistema propulsivo	29
2.2. Resumen de las especificaciones	33
3. INFORMACIÓN EXPERIMENTAL DISPONIBLE	35
3.1. Estructura observada en el plasma	35
3.2. Resultados empíricos de actuaciones	37
3.2.1. Influencia del gasto másico	38

3.2.2.	Influencia del potencial de descarga	40
3.2.3.	Influencia del campo magnético	44
3.3.	Oscilaciones	46
4.	MODELO DEL CHORRO DE PLASMA	51
4.1.	Ecuaciones Generales Macroscópicas	51
4.2.	Modelo 1D	53
4.2.1.	Especies consideradas	55
4.2.2.	Hipótesis básicas	55
4.2.3.	Ecuaciones generales 1-D	56
4.3.	Campo magnético	57
4.4.	Cuasi neutralidad	58
4.5.	Procesos colisionales	59
4.5.1.	Ionización	59
4.5.2.	Colisiones de intercambio de carga	61
4.5.3.	Colisiones elásticas electrón-neutro	62
4.5.4.	Colisiones electrón-ión	62
4.5.5.	Difusión anómala de electrones	63
4.6.	Ecuaciones para electrones	64
4.6.1.	Ecuación de cantidad de movimiento	65
4.6.2.	Ecuación de la energía	66
4.6.3.	Conducción de calor	67
4.7.	Ecuaciones para iones y neutros	67
4.8.	Pérdidas en paredes laterales	69
4.8.1.	Hipótesis del modelo	69
4.8.2.	Frecuencias efectivas de pérdidas en el modelo axial 1-D	72
4.9.	Modelo del ánodo	73
4.10.	Modelo del chorro exterior	75

ÍNDICE GENERAL	3
4.11. Modelo del cátodo	76
4.12. Resumen de ecuaciones y condiciones de contorno	77
5. Análisis del modelo del chorro	81
5.1. Adimensionalización e integración de las ecuaciones	81
5.2. Solución de partida. Estructura del plasma	83
5.3. Chequeo de hipótesis	87
5.4. Definición de empuje y rendimientos	90
5.5. Leyes de escala	93
5.5.1. Dominio de soluciones estacionarias	93
5.5.2. Utilización del propulsante	94
5.5.3. Impulso específico	95
5.5.4. Rendimiento y pérdidas energéticas	96
5.5.5. Campo magnético para operación óptima	97
6. MODELOS AUXILIARES	99
6.1. Modelo de vida útil	99
6.2. Modelo del circuito magnético	103
7. PROCESO DE DISEÑO	107
7.1. Escalado radial	108
7.2. Determinación de las magnitudes fundamentales	111
7.3. Análisis de otros parámetros	115
7.4. Resultados del proceso de diseño	122
8. ACTUACIONES	127
9. PREDISEÑO DE SUBSISTEMAS	135
9.1. Motor 	135
9.2. Sistema generador del campo magnético	137

9.3. Cátodo	139
9.4. Sistema de alimentación de propulsante	142
9.4.1. Tanque de propulsante	142
9.4.2. Regulador de presión	143
9.4.3. Controlador de Flujo	144
9.5. Unidad de control de potencia	146
9.6. Conectores	151
9.7. Requisitos generales de funcionamiento del sistema	152
9.7.1. Arranque	152
9.7.2. Requisitos de ensayo	153
10. INTEGRACIÓN EN LA ASTRONAVE	155
10.1. Integración estructural	156
10.2. Integración en el sistema térmico	157
10.3. Integración en el sistema eléctrico	160
10.4. Integración con el sistema de propulsión secundario	163
10.5. Compatibilidad electromagnética	163
10.6. Interacción con las superficies expuestas	164
10.7. Otros efectos	165
11. Conclusiones	167