

Índice de contenidos

Nomenclatura	4
Orden alfabético	4
Símbolos griegos	4
Subíndices	5
Superíndices	5
1 Introducción	6
1.1 Contexto del proyecto	6
1.2 Conceptos sobre motores híbridos	6
1.3 Modelo de combustión	7
1.3.1 Modelo analizado.....	7
1.3.2 Ecuación de regresión.....	8
1.4 Ventajas y desventajas de la propulsión híbrida	12
1.5 Teoría de toberas	13
2 Descripción del los componentes de un motor cohete híbrido	17
2.1 Cámara de combustión	17
2.1.1 Secciones de la cámara de combustión	17
2.1.2 Descripción del diseño de la cámara de combustión.....	17
2.2 Métodos de ignición	19
2.2.1 Pirotécnico	19
2.2.2 Calentamiento por resistencia	20
2.2.3 Descomposición por arco eléctrico	21
2.2.4 Combustible gaseoso	21
2.2.5 Oxidación de lana metálica	22
2.2.6 Catalizador.....	22
2.3 Sistema de alimentación y sus formas	22
3 Diseño del motor a escala para ensayos en banco estático	25
3.1 Listado de los requerimientos de la misión	25
3.2 Diseño de la cámara de combustión	25
3.2.1 Selección de propulsores	25
3.2.2 Nivel de presión y geometría de cámara.....	27
3.2.3 Geometría final de grano	30
3.2.4 Código de cálculo de performance.....	31
3.3 Dimensionamiento mecánico de la envuelta	33
3.4 Diseño del sistema de ignición	33
3.4.1 Selección del método de ignición	33
3.4.2 Diseño del circuito eléctrico	35
3.5 Diseño del sistema de alimentación	36
3.5.1 Selección de la forma del sistema	36
3.5.2 Esquema del sistema y dimensionamiento de componentes principales.....	36
3.6 Modificaciones introducidas a partir del cambio en el material combustible	38
4 Sistema de adquisición y control, sensores y actuadores	41
4.1 Actuadores utilizados	42
4.1.1 Control de apertura de la válvula de regulación de caudal.....	42
4.2 Sensores utilizados	43
4.2.1 Transductores de presión	43
4.2.2 Sensor de posición del vástago	43
4.2.3 Celda de carga.....	45
4.2.4 Sensor de apertura de válvula	45
4.2.5 Generalidades	45

4.3	Sistema de adquisición y control	45
4.3.1	Componentes principales.....	45
4.3.2	Detalle del diseño de los gabinetes.....	48
4.3.3	Placa de adquisición e interfaz de LabVIEW.....	50
5	Modelo del sistema de alimentación y cámara de combustión	51
5.1	Descripción	51
5.2	Implementación del modelo en Simulink	55
5.3	Medición de parámetros de la planta	59
5.3.1	Medición del roce estático y dinámico del cilindro hidráulico.....	59
5.3.2	Medición de la pérdida de carga en el inyector.....	61
5.3.3	Medición de la pérdida de carga en la válvula de aguja.....	64
5.4	Validación del modelo	67
6	Control de la presión de alimentación	69
6.1	Realimentación por variables de estado con control integral	69
6.2	Respuesta del sistema con lazo de control	71
6.3	Simulación del sistema de alimentación y la cámara de combustión	71
7	Código de procesamiento de datos	72
7.1	Características	72
7.2	Ejemplo de resultados	74
8	Resultados obtenidos en los ensayos	75
8.1	Ensayos de caracterización del cabezal inyector	75
8.2	Ensayos de ignición	77
8.2.1	Incidente en CITEFA.....	77
8.2.2	Modificaciones introducidas a partir del incidente.....	79
8.2.3	Ensayos de encendido sin tobera.....	79
8.2.4	Ensayos de encendido con tobera.....	81
9	Conclusiones	84
Referencias		85
Bibliografía		85
Publicaciones		85
Apéndice A		86
Diseño mecánico del motor		86
	Criterio de dimensionamiento.....	86
	Diseño de la envuelta.....	86
	Diseño de las bridas.....	86
	Selección de las juntas.....	87
	Diseño del cabezal inyector.....	87
	Diseño de la soldadura.....	87
	Sujeción de la tobera.....	87
Apéndice B		89
Código de cálculo de la performance de un motor cohete híbrido		89
Apéndice C		99
Código de procesamiento de datos obtenidos en un disparo		99
Apéndice D		107
Plan de ensayos		107
	Ensayos sobre el sistema de alimentación.....	107
	Ensayos de ignición.....	110
Apéndice E		111
Procedimiento de ensayos de ignición y posibles modos de falla		111
	Procedimiento de ensayos de ignición.....	111
	Secuencia de ensayos y posibles modos de falla.....	119
Apéndice F		123

Índice de figuras	123
Índice de tablas	124
Apéndice G	126
Planos en detalle de la cámara de combustión del motor	126
Agradecimientos	129