

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Profesor(es) Patrocinante(es):  
Emilio Dufeu Delarze

**PAUTAS PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE GRANOS  
PROPELENTES**

**Jaime Gregorio Robles Pardo**

**PROYECTO DE INGENIERÍA AEROESPACIAL**



Julio - 2012

## RESUMEN

La realización del presente proyecto se enmarca en la necesidad existente en la comunidad científica e ingenieril de contar con pautas para el desarrollo de nuevos proyectos y diseños, ligados a la propulsión de cohetes con propelente sólido. La literatura habitual del tema, presenta gran cantidad de estudios aislados, a menudo sin relación con el resto de las variables en juego, y verificando la influencia de ciertos parámetros de diseño sin darle un enfoque global. Por tanto, la motivación del presente proyecto nace al querer generar una literatura que permita al diseñador discernir y/o escoger con fundamentos una u otra determinada opción de diseño. Más allá de lo antes expuesto, el presente reporte de enfoca en una de las mayores preocupaciones de los diseñadores a la hora de crear prototipos de propelente sólido, y que hace relación a la integridad del grano propelente frente a las distintas solicitaciones a las que se verá enfrentado durante su misión, y frente a la siempre latente posibilidad de falla con consecuencias a menudo catastróficas.

Siendo consecuente con el párrafo anterior, los objetivos que se plantean para el presente proyecto son fundamentalmente tres. Primero, Revisar el estado del arte de las teorías que modelan el análisis estructural, indagando en las ventajas y desventajas de cada modelo en un enfoque comparativo. Segundo, proveer pautas para el análisis preliminar de la integridad del grano propelente. Finalmente, averiguar cuales son los parámetros de mayor influencia en la integridad del grano propelente, con la finalidad de permitir algún grado de optimización en el prototipo por parte del diseñador.

La metodología básica que se emplea para alcanzar los objetivos propuestos, es la revisión bibliográfica crítica de la literatura fundamental del tema, y de publicaciones científicas recientes, de manera de lograr generar una pauta actualizada que sirva como referencia para el tema.

Los resultados principales de este informe, muestran que los modos de falla más recurrentes en la propulsión sólida son la fractura del grano, el despegado de la interfaz del grano, la dilatación excesiva y la deformación excesiva del grano. Dichas fallas son las que deben ser evitadas, y para ello, una buena caracterización de los materiales involucrados es fundamental. En ese ámbito, la viscoelasticidad es la que goza de los mayores halagos por su simplicidad, pero a la vez, buenos resultados para la modelación de los propelentes. En cuanto a criterios de falla respecta, todo depende de la presencia o ausencia de defectos iniciales. Si no existen defectos previos, limitaciones en esfuerzos y deformaciones son impuestas. Si existen defectos previos, teorías de fractura y daño son requeridas para predecir la falla. Finalmente, el establecimiento de algún método para estimar un margen de seguridad es necesario, al ser los criterios de falla de carácter no absoluto.

La conclusión principal que se desprende del presente proyecto, es que el diseño actual de los cohetes de propulsión sólida, estructuralmente hablando, ha sido, y continúa en muchos casos siendo, diseños de tipo sobredimensionados, al carecer de técnicas eficientes de integración de fenómenos, frente a un problema tan dinámico como el simulado de un cohete. Por tanto, se concluye que la optimización del diseño de cohetes de propelentes sólidos, en cuanto a estructura

respecta, es posible, y que todos los esfuerzos actuales en el tema, tienden a la integración ya nombrada para lograr dicho objetivo.

RESUMEN .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
INDICE DE CONTENIDO .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 DENSIFICACIÓN DE CORRELES DE PROPELENTE SÓLIDO .....	1
1.2 CONFIGURACIONES DE GRANOS .....	2
1.3 TIPOS DE PROPELENTE .....	3
1.4 CONTEXTO DEL ESTUDIO .....	3
PROBLEMÁTICA DE LA INTEGRIDAD ESTRUCTURAL DEL GRANO .....	3
2.1 MARCO GENERAL .....	3
2.2 FENÓMENO .....	4
2.3 CRITERIOS DE FALLA .....	7
CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES .....	8
3.1 APLICACIONES GENERALES .....	8
3.2 CLASIFICACIÓN DE PROPIEDADES DE VISCOELASTICIDAD .....	9
3.3 MODELOS CONSTITUTIVOS VISCOELÁSTICOS PARA EL GRANO PROPELENTE .....	11
CRITERIOS DE FALLA .....	21
4.1 TIPOS DE FALLA .....	21
4.2 CRITERIOS DE FALLA Y SUS APLICACIONES .....	27
4.3 CONCLUSIONES .....	34
4.4 CONSIDERACIONES ACTUALES DE LA DETERMINACIÓN DEL MARGEN DE SEGURIDAD .....	40
CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS .....	51

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	II
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	IV
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 DESCRIPCIÓN DE COHETES DE PROPELENTE SÓLIDO .....	1
1.2 CONFIGURACIONES DE GRANOS .....	2
1.3 TIPOS DE PROPELENTE .....	4
1.4 CONTEXTO DEL ESTUDIO .....	5
PROBLEMÁTICA DE LA INTEGRIDAD ESTRUCTURAL DEL GRANO .....	6
2.1 MARCO GENERAL .....	6
2.2 PROBLEMÁTICA .....	6
2.3 OTROS MODOS DE FALLA .....	7
CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES .....	8
3.1 ASPECTOS GENERALES .....	8
3.2 CONCEPTOS PREVIOS DE VISCOELASTICIDAD .....	8
3.3 MODELOS CONSTITUTIVOS VISCOELÁSTICOS PARA EL GRANO PROPELENTE .....	14
CRITERIOS DE FALLA .....	22
4.1 TIPOS DE FALLA .....	23
4.2 CRITERIOS DE FALLA Y SUS APLICACIONES .....	28
4.3 FRACTURA .....	32
4.4 COMENTARIOS ACERCA DE LA DETERMINACIÓN DEL MARGEN DE SEGURIDAD .....	34
CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS .....	35