

# Desarrollo de una estructura documental para la calidad de un equipo de cohetería experimental

Vázquez Jiménez, Oscar San Marco

2024

---

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/6123>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

# Desarrollo de una estructura documental para la calidad de un equipo de cohetería experimental

Castillo Bernal Ricardo (octavo semestre en Ingeniería Mecánica)<sup>1</sup>, González Malcos José Miguel (noveno semestre en Ingeniería Mecánica)<sup>1</sup>, Vázquez Jiménez Oscar San Marco (decimoprimer semestre en Ingeniería Industrial)<sup>1</sup>, Vázquez Minor Ángel Josafat (octavo semestre en Ingeniería Aeroespacial)<sup>2</sup>, Cantú Hernández Francisco Antonio (profesor responsable)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

## Introducción

En México, la cohetería experimental enfrenta una serie de desafíos como la falta de normativas y recursos que dificultan su profesionalización. En los proyectos del sector aeroespacial la documentación de la información es clave para la reproducibilidad y escalabilidad de los proyectos [1] [2]. Vultur Rocketry, es un equipo de cohetería experimental universitario compuesto por doce estudiantes, dedicado al desarrollo de cohetes experimentales que representa a la Universidad Nacional Autónoma de México. El objetivo de este proyecto es el desarrollo de una estructura documental referente a las operaciones de pruebas estáticas y de lanzamiento tomando como modelo las normas ISO 10013:2021 y algunos elementos de ISO 9001:2015.



Fig. 1 Equipo Vultur Rocketry con su cohete XT-2



Fig. 2 Lanzamiento del cohete XT-2

## Metodología

Se llevó a cabo un análisis comparativo del manual de operaciones de lanzamiento desarrollado por el equipo Vultur Rocketry con los requisitos de las Normas ISO 10013 e ISO 9001 [3] [4], con la finalidad de proponer cambios en la estructura documental. Se entrevistó de manera virtual al responsable del equipo, considerando el formato propuesto en el manual de Álvarez Torres [5]. Se definió el tipo y diseño de la documentación con base en los apartados 4.1.3 y 5.1.5 de la Norma ISO 10013 [3]. Se realizaron dos visitas al campo de prueba; durante la primera de ellas realizada el 15 de julio de 2024, se efectuaron pruebas estáticas de motores. Durante la segunda visita, realizada el 1 de agosto de 2024, se registraron las actividades de planificación y el ensamblaje de los cohetes y torre de lanzamiento.



Fig. 3 Ejecución de prueba estática durante la visita del 15/07/2024



Fig. 4 Armado de la torre de lanzamiento durante la visita del 1/08/2024



Fig. 5 Observación y registro de actividades durante la visita del 1/08/2024

Se utilizó la herramienta Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) para considerar los posibles fallos de los procesos, así como la información recopilada anteriormente para el diseño de diagramas de flujos y listas de verificación (*checklists*). Por último, se procedió a la elaboración del manual de pruebas estáticas, manual de operaciones de lanzamiento y manual general de calidad, generando un repositorio en GitHub para su acceso.

## Referencias

- [1] C. Duarte, «La cohetería amateur en México,» Agencia Espacial mexicana, 27 11 2023. [En línea]. Available: <https://haciaespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=1533>. [Último acceso: 26 06 2024].
- [2] P. A. Arizpe Carreón, «Transición de los Cohetes Experimentales a los Profesionales,» Agencia Espacial mexicana, 02 07 2024. [En línea]. Disponible en: <https://haciaespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=1584>. [Último acceso: 02 09 2024].
- [3] Organización Internacional de la Normalización, *Norma Internacional ISO 10013:2021 Sistemas de gestión de la calidad — Orientación para la información documentada*, 2021.
- [4] Organización Internacional de la Normalización, «ISO 9001:2015 Sistemas de gestión de calidad — Requisitos,» Organización Internacional de la Normalización, [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/06/20/62085.html>. [Último acceso: 13 08 2024].
- [5] M. G. Álvarez Torres, *Manual Para Elaborar Manuales de Políticas Y Procedimientos*, Ciudad de México: Panorama, 2022.

## Resultados

Se evaluó nivel de documentación organizacional del equipo Vultur Rocketry, obteniendo un 63.6% en el nivel global de efectividad. La estructura documental se organizó en cuatro niveles jerárquicos, desde el Manual General de Calidad hasta los Reportes de Resultados (ver figura 6). Además, se aplicó la herramienta AMEF para calcular el riesgo de fallas en procesos operativos, utilizando diagramas de flujo (ver Tabla 1). Finalmente, se desarrollaron los manuales de pruebas estáticas y operaciones de lanzamiento, basados en normas ISO. El nivel de documentación organizacional alcanzó un 63.6%, indicando un nivel alto pero cercano al límite inferior. El análisis AMEF identificó cinco modos de falla críticos, destacando problemas en el sistema de ignición y la integridad estructural, con recomendaciones para inspección y pruebas preventivas. También se abordaron fallas en la recuperación del sistema, como el despliegue de paracaídas y la localización, aplicando medidas correctivas para reducir riesgos. Los demás modos de falla fueron de menor riesgo, pero también incluyeron mejoras sugeridas.

Proceso	Modo de Falla	Efecto del Modo de Falla	Causa Potencial	S	O	D	IRK	Acción Recomendada
Preparación del área de lanzamiento	Área no asegurada	Lesiones al personal o al público	Falta de señalización o vigilancia	5	1	1	5	Añadir señalización y revisión visual del perímetro
	Obstáculos en la zona de lanzamiento	Daños al equipo o fallos en el lanzamiento	Supervisión inadecuada	4	1	1	4	Incluir revisión visual para asegurar área despejada
Montaje de la Torre de lanzamiento	Torre de lanzamiento mal colocada o asegurada	Colapso del lanzador, daños al cohete, lesiones	Instalación incorrecta de anclajes	5	1	1	5	Verificar riel de lanzamiento
	Integridad estructural comprometida	Falla en vuelo, pérdida del cohete	Falta de inspección o defectos no detectados	5	2	2	20	Realizar inspección física del fuselaje y aletas
Inspección del cohete y sistemas de seguridad	Paracaídas mal empaquetado	Falla en recuperación, impacto en tierra	Instalación incorrecta o verificación insuficiente	4	1	2	8	Revisión doble del sistema de recuperación y prueba de despliegue
	Ignición no planeada del cerillo electrónico debido a error humano	Riesgo de lanzamiento prematuro, lesiones y daños	Manipulación incorrecta del sistema	5	1	1	5	Capacitación y ensayos de los procedimientos de ignición
Preparativos Pre Lanzamiento	Ignición no planeada del cerillo electrónico por mal funcionamiento del transmisor	Riesgo de ignición accidental y lesiones	Falla en el transmisor	5	2	1	10	Revisión del control transmisor
	Ignición no planeada del cerillo electrónico debido a interferencia o mal funcionamiento del receptor	Encendido no deseado y daños	Problemas de interferencia o fallo en receptor	5	2	2	20	Revisar que no existan comunicaciones móviles que puedan interferir (redes móviles y redes Wi-Fi)
	Cuenta regresiva sin confirmación final	Lanzamiento inseguro	Comunicación inadecuada	5	1	1	5	Capacitación y ensayo de los procedimientos. Confirmación verbal de checklist final antes de cuenta regresiva
Lanzamiento	Fallo en el sistema de ignición	Cohete no despegó o lanzamiento fallido	Problema eléctrico o en el ignitor	4	3	3	36	Inspeccionar ignitor y cerillo electrónico. Realizar prueba de ignición in situ con únicamente el cerillo electrónico
	Trayectoria desviada	Riesgo de impacto en personas o estructuras de viento	Problema en el montaje o condiciones de viento	5	1	1	5	Verificar condiciones de viento y montaje en dirección adecuada
Recuperación	Paracaídas no se despliega	Cohete impacta en tierra, daños al equipo	Error en el sistema de liberación o en el temporizador	4	2	2	16	Inspeccionar el sistema de liberación y temporizador
	Paracaídas se despliega parcialmente	Caida incontrolada, posible daño al cohete	Enredo o defectos en el paracaídas	4	1	2	8	Prueba de despliegue del paracaídas y revisión de pliegues
	Sistema de localización falla	Pérdida del cohete en el área de recuperación	Daño en la señal de localización o batería agotada	4	2	2	16	Verificar carga de batería y señal del sistema de localización

Tabla 1. Resultados del análisis de Modos y Efectos de Falla



Fig. 6 Estructura documental jerárquica



Fig. 7 Documentos en GitHub

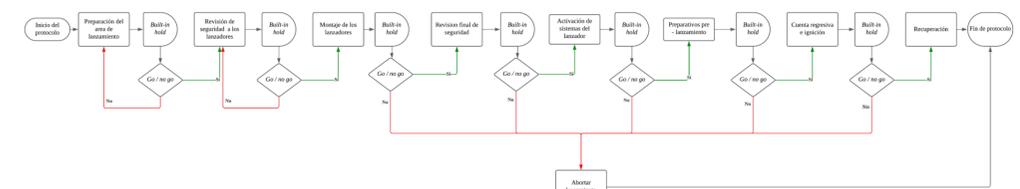


Fig. 8 Diagrama de flujo del proceso de lanzamiento

## Conclusiones

La estructura documental desarrollada en el presente trabajo representa un avance en los procedimientos del equipo Vultur Rocketry, tales como la mejora de la calidad y seguridad de sus operaciones, la colaboración interdisciplinaria, la innovación en el sector aeroespacial nacional, así como en su preparación para lograr certificaciones oficiales *a posteriori*. La estructura documental desarrollada se integró principalmente por el Manual de Pruebas Estáticas, Manual de Operaciones de Lanzamiento y Manual General de Calidad.

## Agradecimientos

Agradecemos al equipo Vultur Rocketry y al Encuentro Mexicano Nacional de Ingeniería Experimental por su apoyo y compromiso en la realización de este proyecto.