



COLEGIO DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN CIENCIA DE DATOS

Planificación para el Desarrollo del Proyecto de Titulación

Tutor: [Ricardo Flores Moyano](#)

Autor: [Jordy Garzón](#)

Quito – Ecuador

2024



1. Título del Proyecto:

Optimización del Mantenimiento Predictivo en motores Turbo Fan Basado en Datos e Inteligencia Artificial.

2. Relevancia y Justificación:

En la era de la Industria 4.0, la integración de tecnologías avanzadas en el mantenimiento de equipos críticos ha revolucionado la forma en que se gestionan y operan los sistemas industriales. Uno de los campos que ha experimentado un notable avance es el mantenimiento predictivo de motores turbo fan, esenciales en la aviación y otras aplicaciones industriales. La optimización de este tipo de mantenimiento, basada en datos y potenciada por la inteligencia artificial (IA), ofrece una promesa significativa para mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y aumentar la seguridad. La relevancia de esta optimización radica en su capacidad para transformar el mantenimiento tradicional en un proceso más eficiente, seguro y sostenible, impulsado por la inteligencia artificial y el análisis de datos. Esto no solo mejora el rendimiento y la fiabilidad de los motores turbo fan, sino que también aporta beneficios económicos y ambientales significativos.

3. Objetivos

a. Generales

Desarrollar un modelo de mantenimiento predictivo para motores turbo fan utilizando técnicas de inteligencia artificial y análisis de datos, con el fin de optimizar el tiempo de operación, reducir costos de mantenimiento y prevenir fallos inesperados en los motores.

b. Específicos

- Explorar y analizar los datos de motores turbo fan para extraer características relevantes y representativas de las condiciones de operación y desgaste, asegurando que los datos sean adecuados para el entrenamiento y evaluación de modelos de inteligencia artificial.
- Implementar modelos de aprendizaje automático y aprendizaje profundo para identificar patrones de desgaste y condiciones de falla en los motores, determinando el modelo que mejor predice el tiempo de vida útil restante (RUL).
- Evaluar la eficiencia del modelo de mantenimiento predictivo implementado mediante métricas de rendimiento específicas, como la precisión en la predicción de fallas y el tiempo de respuesta del sistema, para asegurar su efectividad en escenarios reales de operación de motores.

4. Estado del Arte

La creciente complejidad y el costo de los sistemas de ingeniería moderna han impulsado la adopción de técnicas de mantenimiento predictivo, particularmente en sectores críticos como la aviación y la energía eólica.

La necesidad de un mantenimiento eficiente en sistemas complejos como los motores turbofan ha impulsado el desarrollo de enfoques avanzados de análisis de datos y técnicas de inteligencia artificial.



La implementación de modelos predictivos permite anticipar fallos y optimizar el ciclo de vida de los componentes, lo que es crucial en la industria de la aviación.

Análisis de Series Temporales

Peters (2020) explora el uso del análisis de series temporales como herramienta fundamental para el mantenimiento predictivo de motores turbofan. A través de la recopilación y análisis de datos históricos de rendimiento, se pueden identificar patrones y tendencias que sugieren la salud del motor. Este enfoque permite a los ingenieros tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento, minimizando el riesgo de fallos inesperados y maximizando la disponibilidad del equipo.

Redes Neuronales LSTM

En un trabajo complementario, Peters (2020) también presenta el uso de Long Short-Term Memory (LSTM), un tipo de red neuronal recurrente, para el mantenimiento predictivo. Las LSTM son especialmente efectivas para manejar datos secuenciales y pueden aprender de la historia temporal de las métricas de rendimiento del motor. Esto proporciona una capacidad mejorada para predecir el tiempo hasta el fallo, lo que es fundamental para implementar estrategias de mantenimiento proactivas.

Modelos de Aprendizaje Profundo

La investigación de Asif et al. (2022) aporta un modelo de aprendizaje profundo específicamente diseñado para predecir la vida útil restante (RUL) de motores turbofan utilizando el conjunto de datos C-MAPSS. Este estudio demuestra cómo los algoritmos de aprendizaje profundo pueden capturar relaciones complejas en los datos de operación, mejorando la precisión de las predicciones y permitiendo una mejor planificación del mantenimiento.

Thakkar y Chaoui (2022) también contribuyen al campo con su enfoque en el uso de redes neuronales recurrentes profundas para la predicción de la RUL de motores turbofan. Su investigación se centra en la efectividad de las arquitecturas de red neuronal para modelar las dinámicas de los datos de rendimiento, proporcionando resultados que respaldan el uso de estas técnicas en entornos industriales.

Algoritmos de Optimización

El trabajo de Salgotra et al. (2020) introduce un algoritmo de salp swarm auto-adaptativo, que puede aplicarse para resolver problemas de optimización en el mantenimiento predictivo. Este enfoque es crucial para desarrollar estrategias de mantenimiento que se adapten dinámicamente a las condiciones operativas y a los datos en tiempo real, mejorando la eficiencia operativa de los sistemas.

Predicción de la Vida Útil

Finalmente, el estudio de Mathew et al. (2017) examina el uso de diversas técnicas de aprendizaje automático para predecir la RUL de motores turbofan. Su investigación subraya la importancia de seleccionar el modelo adecuado y de realizar un ajuste fino para maximizar la precisión de las predicciones. Este trabajo refuerza la idea de que una combinación de múltiples técnicas de análisis de datos puede ofrecer una solución más robusta para el mantenimiento predictivo.

El estado actual de la investigación en mantenimiento predictivo de motores turbofan revela un enfoque multifacético que combina el análisis de series temporales, técnicas de aprendizaje profundo y



algoritmos de optimización. Estas metodologías ofrecen la capacidad de anticipar fallos y optimizar los intervalos de mantenimiento, lo que es esencial para la seguridad y eficiencia en la aviación. A medida que la tecnología continúa evolucionando, es probable que estas técnicas se integren aún más en la práctica industrial, llevando a una mejora en la sostenibilidad y la fiabilidad de los sistemas de propulsión aérea.

5. Metodología de Trabajo

1. **Revisión Estado del Arte:** Inicialmente, se realizará una revisión exhaustiva del estado del arte en el área.
2. **Análisis de datos:** Se enfocará en la revisión del dataset, entender por completo la estructura del dataset, así como tratarlo para que los datos representen correctamente el problema a solventar.
3. **Desarrollo Experimental:** Se implementarán y probarán varios modelos de IA para la predicción y optimización, incluyendo regresión lineal y modelos avanzados como LSTM.
4. **Validación:** Los modelos serán validados y optimizados utilizando métricas específicas (RMSE, R2).
5. **Ajuste y Mejora:** Los resultados se ajustarán continuamente según nuevos datos y escenarios, implementando mejoras en los modelos.

6. Sumario de Contenidos

- Introducción
- Estado del Arte
- Descripción de la Propuesta
- Desarrollo del Prototipo
- Experimentos y Análisis de Resultados
- Conclusiones y Trabajo Futuro

7. Recursos

- a. **Humanos:** Tutor: Phd. Ricardo Flores.
- b. **Materiales:** Laptop lenovo 3, servidores usfq dgx, dgx2 y a100.

8. Cronograma de Actividades

Actividades	2024			2025	
	10	11	12	1	2
A1: Desarrollo del documento de planificación	X	X			
A2: Estudio del estado del arte	X	X	X		
A3: Implementación de modelos			X	X	
A4: Validación y mejora de modelos				X	X
A5: Documentación y conclusiones					X



9. Referencias

1. K. Peters, "Time series analysis for predictive maintenance of turbofan engines," *Towards Data Science*, [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/time-series-analysis-for-predictive-maintenance-of-turbofan-engines-1b3864991da4>. [Accessed: 13-Dic-2020].
2. K. Peters, "LSTM for Predictive Maintenance of Turbofan Engines," *Towards Data Science*. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/lstm-for-predictive-maintenance-of-turbofan-engines-f8c7791353f3>. [Accessed: 13-Dic-2020].
3. R. Salgotra, U Singh and N. Mitta, "Self-adaptive salp swarm algorithm for engineering optimization problems" *Code Ocean*, Aug. 2020.[Online]. Available:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0307904X20304431>
4. O. Asif, S. A. Haider, S. R. Naqvi, J. F. W. Zaki, K. -S. Kwak and S. M. R. Islam, "A Deep Learning Model for Remaining Useful Life Prediction of Aircraft Turbofan Engine on C-MAPSS Dataset," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 95425-95440, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3203406. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9874872>
5. U. Thakkar y H. Chaoui, "Remaining Useful Life Prediction of an Aircraft Turbofan Engine Using Deep Layer Recurrent Neural Networks," *Actuators*, vol. 11, no. 3, p. 67, 22 Feb. 2022, doi: 10.3390/act11030067. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2076-0825/11/3/67>
6. V. Mathew, T. Toby, V. Singh, B. M. Rao, y M. G. Kumar, "Prediction of Remaining Useful Lifetime (RUL) of Turbofan Engine Using Machine Learning," en *2017 IEEE 23rd International Conference on Automation and Computing (ICAC)*, Huddersfield, UK, 2017, pp. 1–6, doi: 10.23919/ICAC.2017.8326010. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8326010>