

# Detección temprana basada en vibraciones de la acumulación de hielo en las palas mediante el algoritmo Extended Isolation Forest

## PROBLEMA

La acumulación de hielo en las palas de los aerogeneradores puede afectar significativamente la integridad estructural y el rendimiento aerodinámico. Este fenómeno puede causar desequilibrios en el rotor, vibraciones no deseadas, reducción de la eficiencia en la generación de energía, riesgos para la seguridad y mayores costos de mantenimiento.

## OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una metodología para la detección temprana de la acumulación de hielo en las palas de los aerogeneradores utilizando el algoritmo de Extended Isolation Forest (EIF).

## PROPUESTA

- Instalación de ocho sensores triaxiales de aceleración en diferentes posiciones de la pala para recoger datos de vibración.
- Se realizan un total de 240 experimentos, de los cuales 220 son con el aerogenerador completamente sano y el resto simulando la masa añadida.
- Uso del algoritmo EIF para identificar anomalías indicativas de acumulación de hielo.
- Para mejorar el análisis de las señales de vibración, se seleccionaron tres características clave: Entropía de permutación, Dimensión fractal y Curtosis
- Normalización de datos mediante el método Z-Score para garantizar la uniformidad en el análisis.
- Evaluación de datos mediante la organización en segmentos de tiempo consecutivos para facilitar la identificación de daños.

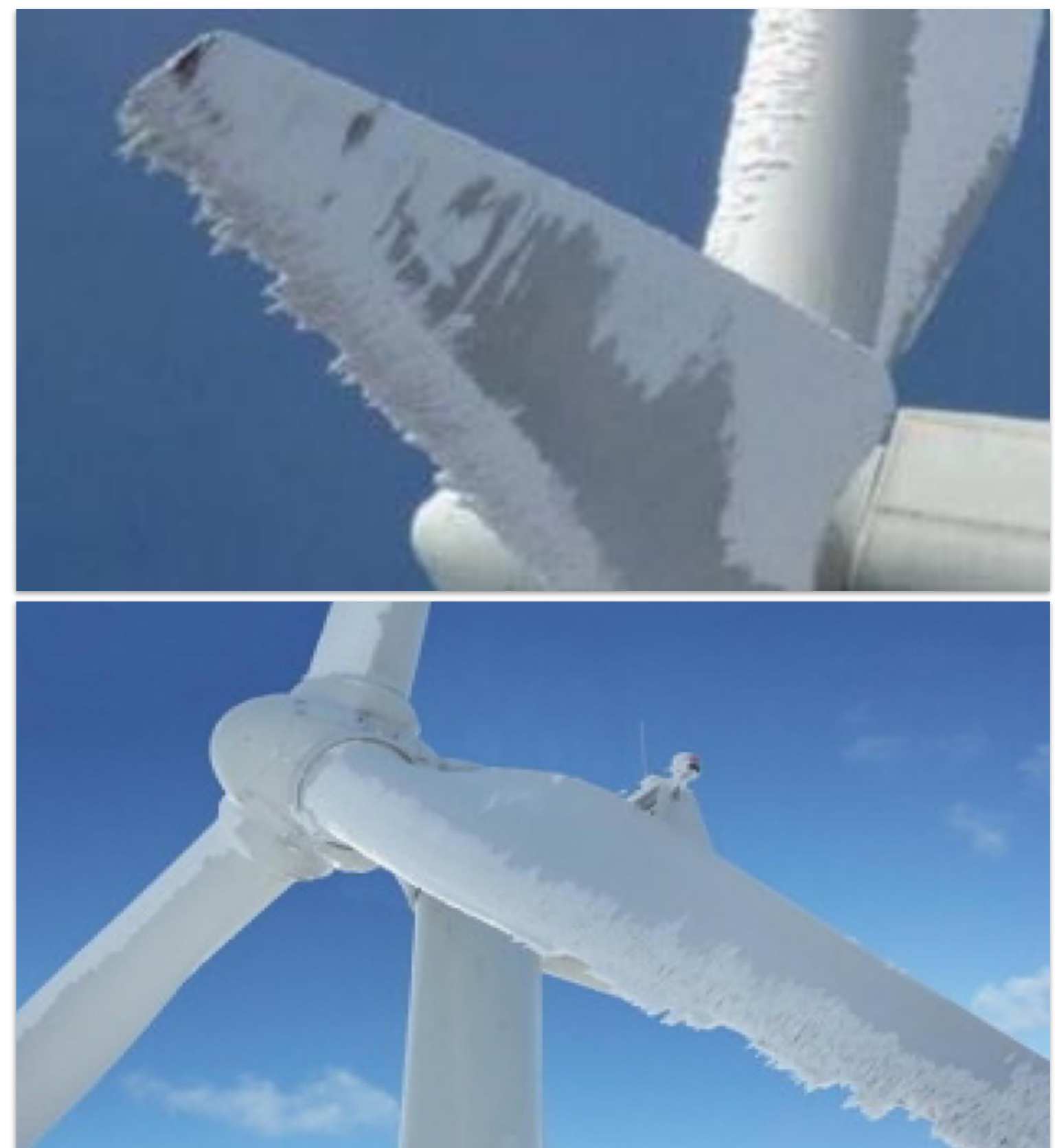


Figura 1: Formaciones de masas de hielo en las palas de los aerogeneradores.

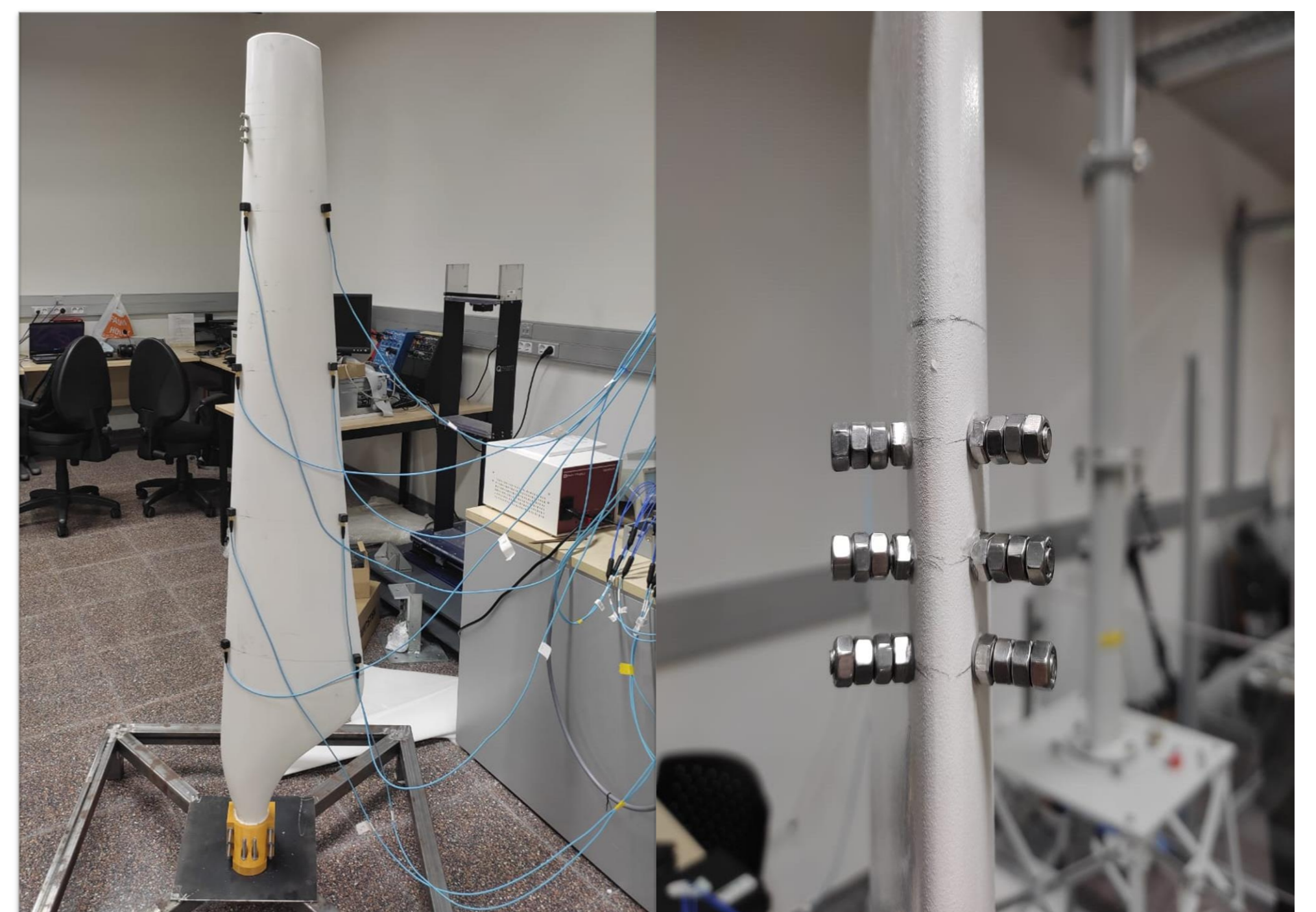


Figura 2: Configuración del experimento y representación del caso de daño con masa añadida (simulada mediante pernos) de 35 g.

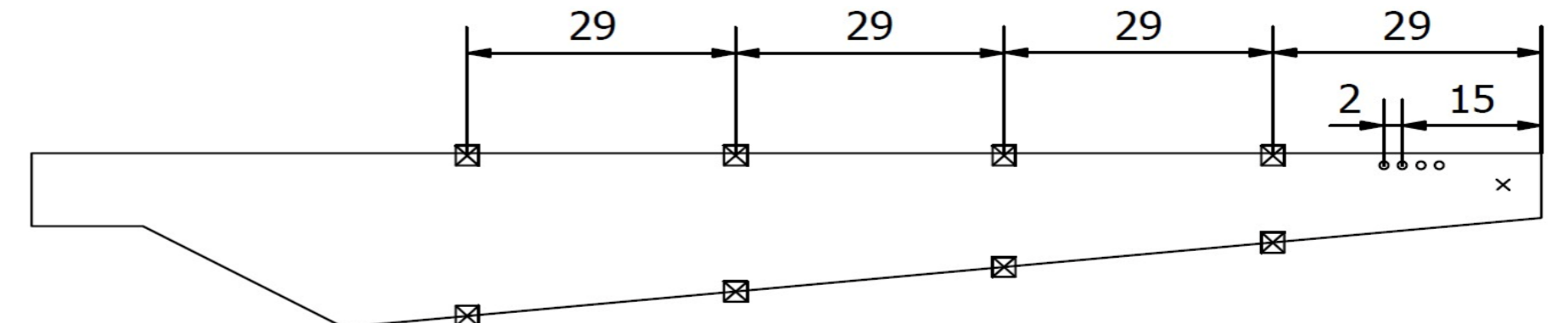


Figura 3: Contorno de la pala donde los cuadrados indican la ubicación de los sensores, los círculos la posición de las masas añadidas y la cruz la zona de excitación.

Number of Trees	Size of subsample	Extension Level
434	41	3

Tabla 1: Hiperparámetros del algoritmo EIF, obtenidos con el optimizador Optuna.

## RESULTADOS

- La metodología desarrollada ha demostrado ser efectiva en la detección y diagnóstico de la acumulación de hielo, incluso en pequeñas cantidades (35 gramos).
- Los datos de prueba muestran que el modelo clasifica correctamente las secuencias de estado dañado como anomalías y las secuencias de estado sano como normales.

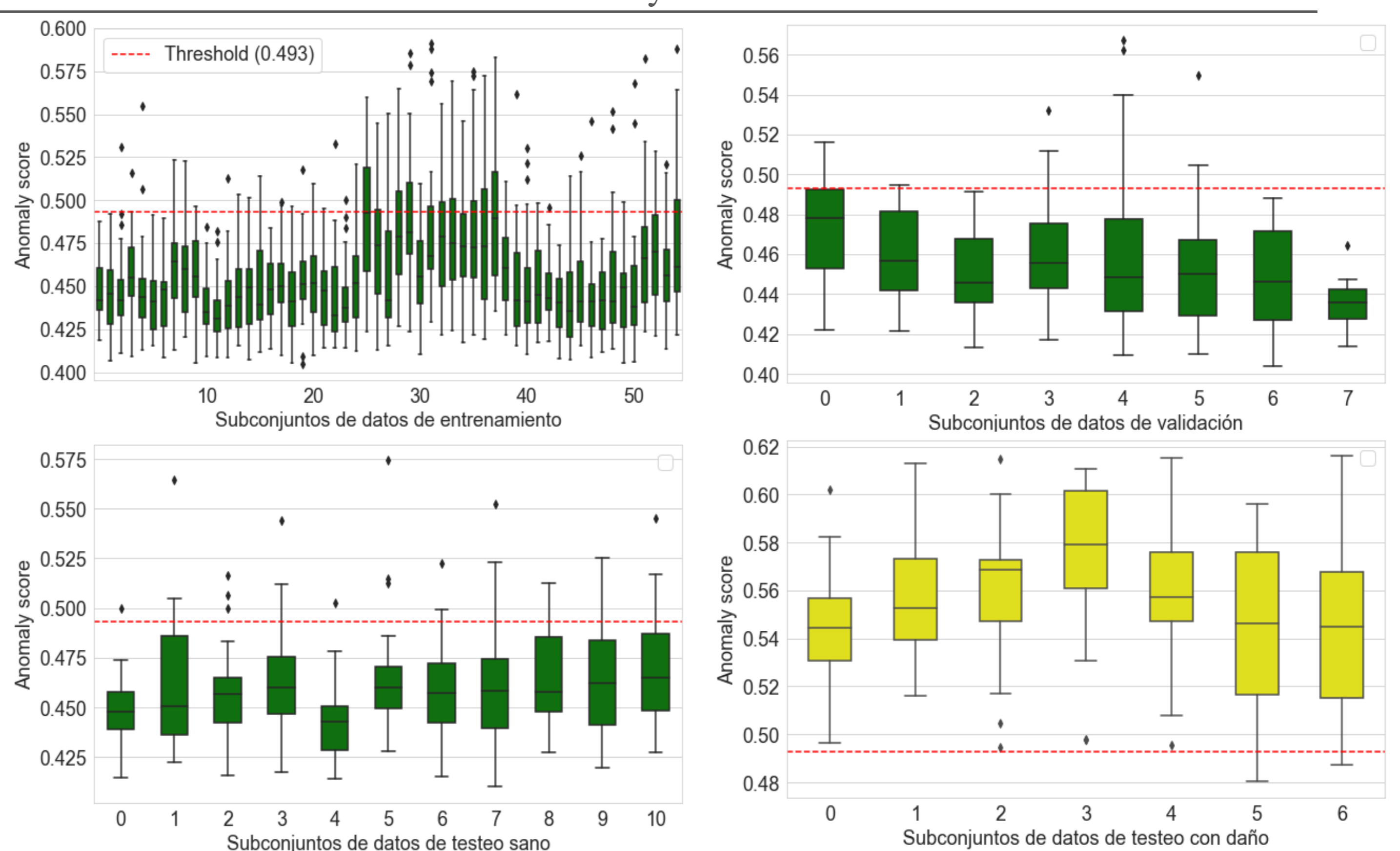


Figura 4: Diagrama de caja de los valores de anomaly score en los distintos conjuntos de datos. La línea horizontal roja discontinua representa el valor umbral.

## CONCLUSIONES

- El enfoque basado en la respuesta de vibración y el algoritmo EIF es efectivo para la detección temprana de acumulación de hielo en las palas de los aerogeneradores.
- La capacidad de detectar hielo en etapas tempranas permite una toma de decisiones rápida, reduciendo el tiempo de inactividad por inspecciones, los costos de mantenimiento y las fallas inesperadas.
- La metodología, al basarse únicamente en datos de condiciones saludables para el entrenamiento y la validación, es aplicable en diversos entornos industriales.
- En conclusión, esta investigación proporciona una valiosa herramienta para mejorar la seguridad y la eficiencia en la industria de la energía eólica, con el potencial de reducir los costes operativos.