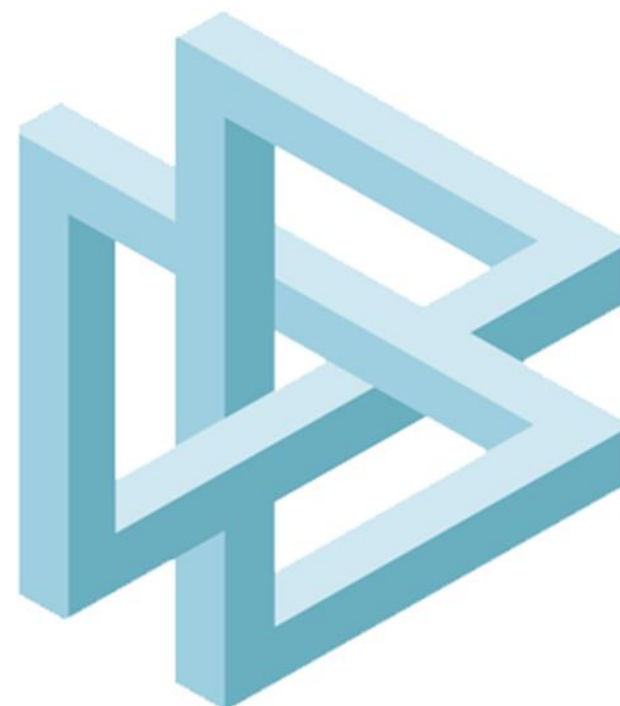


**XVII**

Congreso de  
**Confiablebilidad**

25 y 26 de noviembre de 2015. Bilbao



# ***Sistema Integral Para la Caracterización y Prognosis de Modos de Fallo en Motores Marinos***

**Alberto Diez Oliván**

*Data Scientist*

**TECNALIA Research & Innovation**

**Jose Antonio Pagán Rubio**

*Diagnose Engineering and Product Development*

**NAVANTIA (Grupo SEPI)**

## ***Índice***

***1. Introducción***

***2. Metodología***

***3. Integración y ejemplo de uso***

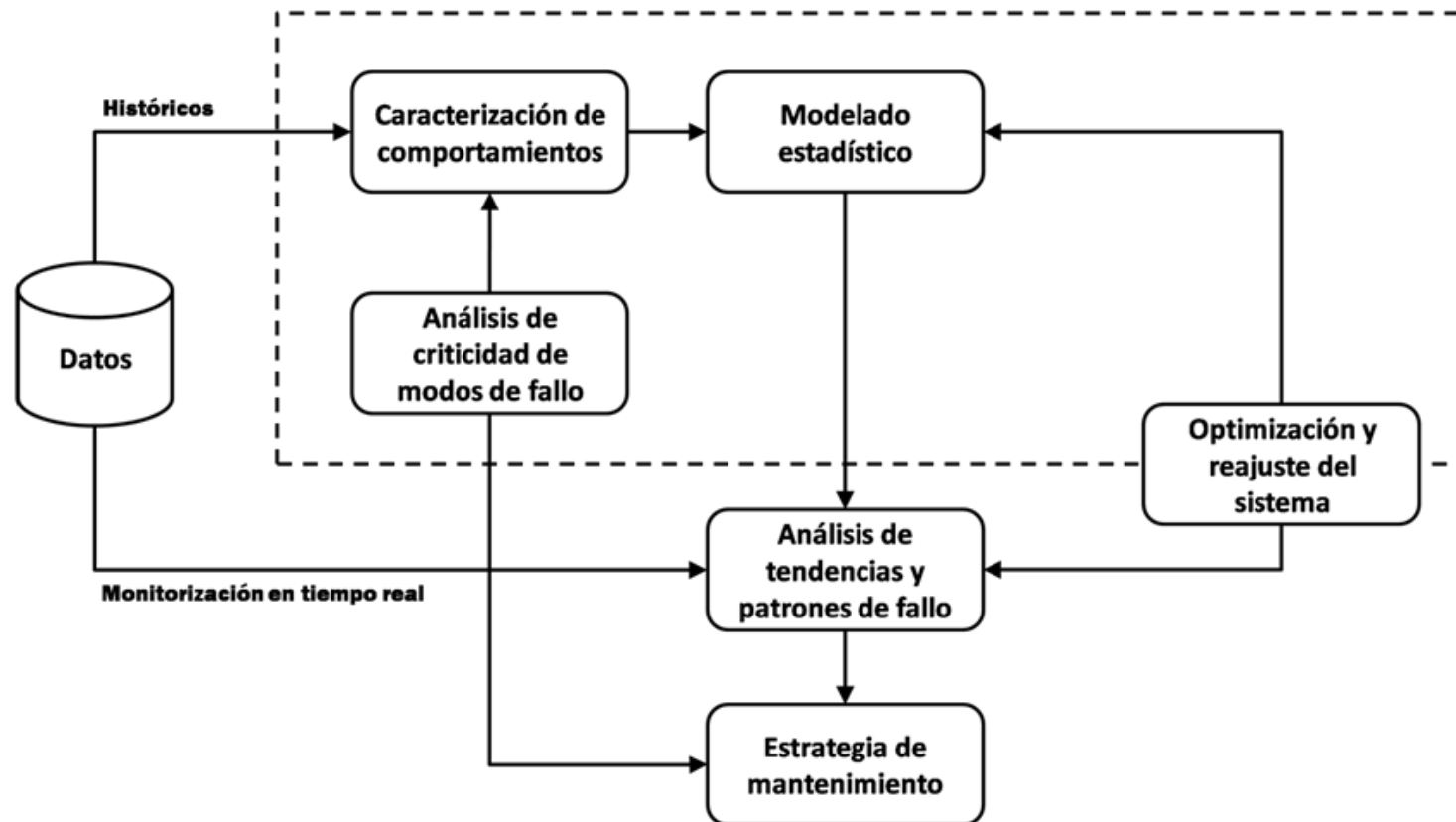
***4. Conclusiones***

## ***Introducción***

- ***En el sector naval militar el mantenimiento correctivo implica un impacto negativo importante en términos de riesgo, costes, recursos, disponibilidad y cumplimiento de la misión***
- ***Es un sector conservador, centrado en operaciones preventivas que se dividen en escalones según dificultad:***
  - ***1-2: realizadas por la dotación y personal de base del buque***
  - ***3-4: realizadas por astillero y fabricantes de equipos***
- ***Una operación correctiva en el transcurso de una misión resulta crítico***
- ***El peor de los escenarios se da cuando la seguridad de la tripulación se ve afectada***
- ***El reto actual consiste en monitorizar equipos e instalaciones de gran complejidad***
  - ***Hay una ingente cantidad de información a analizar***
  - ***Se excede la capacidad de los sistemas de diagnosis y prognosis actuales***
- ***Proponemos una metodología basada en el análisis inteligente de los parámetros operativos monitorizados de los equipos críticos de los buques que:***
  - ***Permite detectar y predecir anomalías***
  - ***Se integra en plataformas CBM+ (CBM+RCM+AI) ofreciendo un tema holístico de monitorización, análisis y mantenimiento***

## Metodología

- *Esquema de la metodología propuesta*



## Metodología

### 1. Análisis de criticidad de modos de fallo

- **Combinando la criticidad de los equipos y de los modos de fallo**
- **Análisis de modos de fallo y efectos (FMECA)**
- **RCM adaptado al sector de defensa según la norma NES45**
- **Importancia de las consecuencias: daños ambientales, seguridad de la tripulación, impacto en la misión y costes de reparación**

	Frecuente	Probable	Ocasional	Improbable	Muy improbable
Catastrófico	1 (riesgo 4)	2 (riesgo 6)	3 (riesgo 8)	4 (riesgo 10)	5 (riesgo 12)
Crítico	3 (riesgo 8)	5 (riesgo 12)	6 (riesgo 16)	7 (riesgo 20)	8 (riesgo 24)
Marginal	6 (riesgo 16)	8 (riesgo 24)	9 (riesgo 32)	10 (riesgo 40)	11 (riesgo 48)
Insignificante	9 (riesgo 32)	11 (riesgo 48)	12 (riesgo 64)	13 (riesgo 80)	14 (riesgo 96)

## ***Metodología***

### ***2. Caracterización de comportamientos***

- ***A partir de los parámetros operativos y de proceso de los equipos monitorizados y del contexto operacional***
- ***Los datos históricos son analizados por eventos: conjunto de valores de parámetros monitorizados en un instante de tiempo concreto***
- ***Métodos utilizados:***
  - ***Preprocesado estadístico de los datos monitorizados: filtrado, selección de atributos, análisis de distribuciones y correlaciones, etc.***
  - ***Técnicas de clustering (K-Medias) para agrupar datos similares según una métrica de distancia (Euclidea) entre los eventos normalizados (L2), obteniendo grupos de datos que caracterizan comportamientos: normalidad, comportamientos anómalos, etc.***
- ***Las anomalías son eventos que difieren del representante o centroide de los grupos formados, o grupos concretos con pocos eventos***



Navantia



## **Metodología**

### **3. Modelado estadístico**

- **Aprendizaje de los modelos:**
  - **Extracción de reglas a partir de los comportamientos caracterizados: reglas de pertenencia a clusters, reglas generadas mediante arboles de decisión (C4.5) o reglas difusas, fusificando las anteriores**
  - **Inferencia de expresiones matemáticas (regresión simbólica): se modela una variable de salida del equipo en función de una o varias de entrada, a partir de un cluster que caracteriza la normalidad**
- **Validación de los modelos: separación de los datos en conjunto de entrenamiento (80%) y test (20%)**

### **4. Análisis de tendencias y patrones de fallo**

- **Chequear las reglas de pertenencia a modos de fallo**
- **Detectar desvíos respecto de los modelos de normalidad que pueden derivar en anomalías:**
  - **aplicando regresión sobre los residuos generados al restar el valor real respecto del calculado a partir de la fórmula de normalidad**  
**estableciendo umbrales a partir del máximo error obtenido al inferir la fórmula de normalidad**



## ***Metodología***

### ***5. Estrategia de mantenimiento***

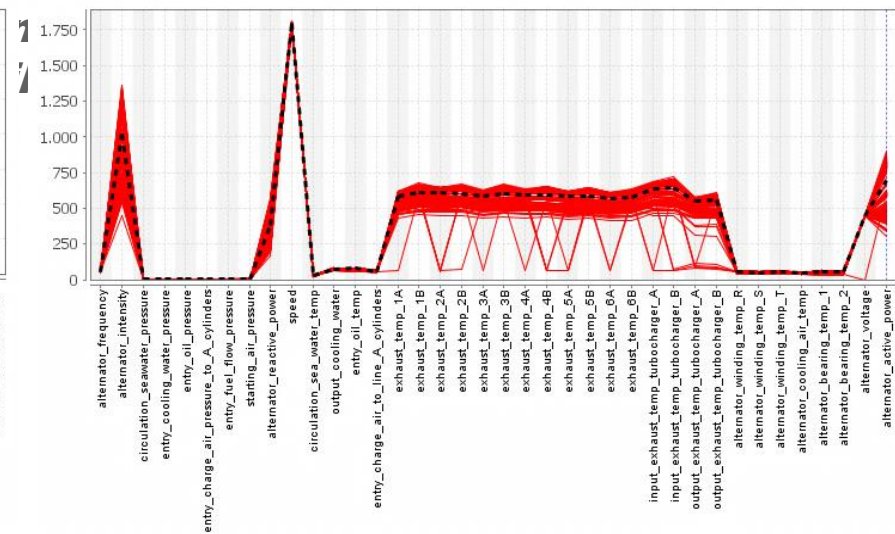
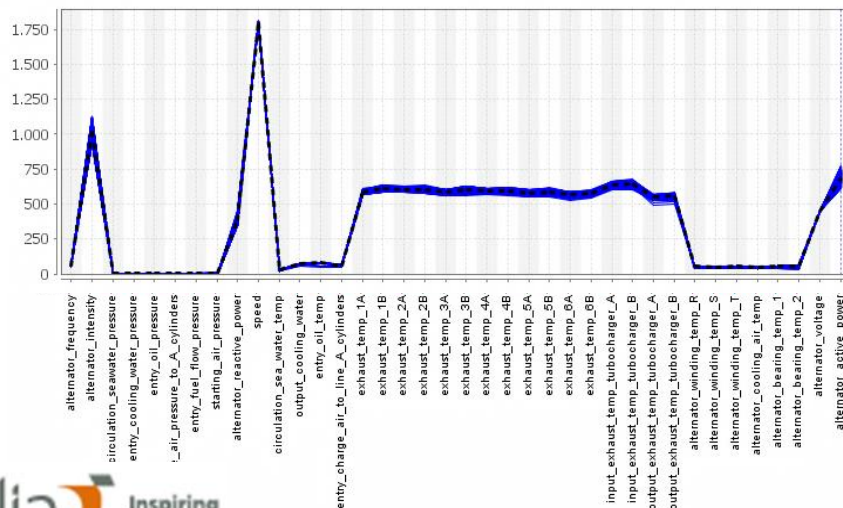
- ***Planificar una operación óptima basada en restricciones y en el análisis de tendencias y patrones de fallo***
  - ***Restricciones: disponibilidad de recursos y tiempo, severidad del fallo, criticidad de los equipos afectados y grado de cumplimiento e importancia de la misión***

### ***6. Optimización y reajuste del sistema***

- ***Repetir la fase de aprendizaje, validación e integración de los modelos:***
  - ***Utilizando un mayor conjunto de datos históricos disponibles***
  - ***Cuando el rendimiento de los modelos descienda (incremento de la tasa de falsos positivos y falsos negativos)***
  - ***Después de un overhaul o de una operación de mantenimiento de envergadura***

## Integración y ejemplo de uso

- **La metodología ha sido integrada en una plataforma CBM+ para la gestión del estado de salud de activos marinos en buques**
- **Se ha seleccionado un equipo especialmente complejo y crítico (GRES=5) de un buque para ilustrar el uso de la metodología propuesta**
  - **Un motor diesel de generación eléctrica modelo NAVANTIA-MTU 12V-396**
  - **A partir de los parámetros de operación del motor, tomamos dos meses de datos a una carga normal (intensidad, potencia y velocidad)**
  - **Ejecutamos K-Medias (K=2), para separar eventos normales de posibles anomalías**

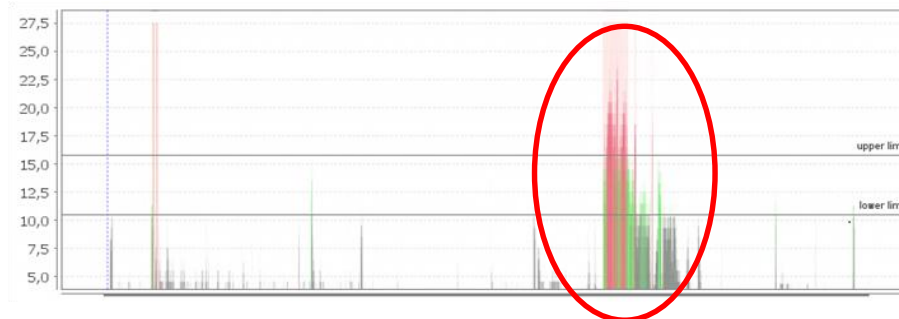
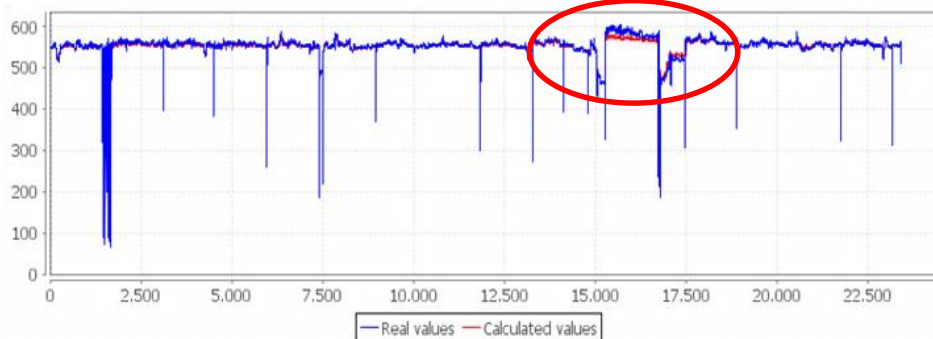


## Integración y ejemplo de uso

- **Seleccionamos las variables que pueden caracterizar el comportamiento de los cilindros:**
  - **temperatura de entrada de la turbo B (x)**
  - **temperatura de salida del cilindro 2B (z)**
  - **temperatura de salida de la turbo B (y)**
- **Aplicamos regresión simbólica sobre el cluster que identifica la normalidad o ausencia de anomalías, utilizando la variables seleccionadas:**

$$y = \log z |x|$$

- **Utilizando los datos de los dos clusters, las diferencias entre el valor calculado por el modelo de normalidad y el valor real de la temperatura de salida de la turbo B aumentan considerablemente**



## Integración y ejemplo de uso

- **Una vez aprendida y validada, la formula de normalidad aprendida se exporta a la plataforma CBM+**
- **El modelo completo incluye todos los parámetros monitorizados de interés**
- **El objetivo final es evaluar en tiempo real las diferencias entre el valor real y el estimado y detectar así tendencias de fallo y patrones de degradación**
- **La plataforma CBM+ resultante es un sistema muy potente para optimizar el plan de mantenimiento de un buque/flota durante todo su ciclo de vida**

Nombre: 12V 396 TE54 Marca: 12V 396 TE54 Tipo: 01.Motor

Parámetros Modos de Fallo Filtros de datos Reglas expertas Reglas difusas Parámetros de fluidos Modelos de normalidad

Formula	Cluster	Limite inferior	Limite superior	Retardo (s)
<b>Filtro: 12V-0L-0026_2 - Motor En Carga Ene-Feb2011 &gt;800KW</b>				
Parámetro : Dif_TurboB ((Dif_T_TurboA) - (cosine (56.0))) + (log (56.0))	x	0,827868416987428	15,2418026254811	300
Parámetro : IT70 ((WT70) + [RT70]) - ((abs (([RT70] + [RT70]) + [RT70])) / 17.0)	x	34,5882352941176	100	300
Parámetro : PT03 log ((Exp([PT36-A]) + (log ([Tmed_LinA] - (tangent (log (abs ([Dif_T_TurboB] + (sqrt ([Tmed_LinA]))))))))))	x	0,038257838758577	0,573867581378655	300
Parámetro : PT10 log (sqrt ([TT50-5A] * (log ([TT71-T] + [TT71-R]))))	x	0,0811602796413018	2,12174041946195	300
Parámetro : PT22 sqrt (((sqrt ([TT03]) + 37.0) - [TT03]))	x	0,0555171262293754	2,08327568934406	300
Parámetro : PT36-A sqrt (tangent (sqrt (abs (tangent (abs (tangent (log ([WT70] - (tangent (tangent (sqrt (abs ([WT70]))))))))))))))	x	0,033593720620927	0,403905809313905	300

## ***Conclusiones***

- ***En este estudio se ha presentado una metodología integrada en una plataforma CBM+ para detectar y anticipar fallos en equipos marinos***
- ***Los resultados experimentales demuestran su potencial para caracterizar y detectar comportamientos de interés y predecir anomalías en los equipos monitorizados***
- ***Las predicciones realizadas permiten obtener una planificación óptima del mantenimiento basado en la fiabilidad, reportando importantes beneficios:***
  - ***Ahorro en tiempo y costes***
  - ***Mejoras en la fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad***
  - ***Asegurando la correcta operación del buque y el cumplimiento de la misión***
- ***Aunque nos hemos centrado en los parámetros de operación, esta misma metodología se puede aplicar para el procesado de otros indicadores de fallo:***
  - ***Vibraciones***
  - ***Análisis de fluidos***
  - ***Información termográfica***
  - ***Presión en los cilindros***
  - ***Ultrasonidos***

## ***Contactos***

***Alberto Diez Oliván***

***Data Scientist***

***TECNALIA Research & Innovation  
Division de Industria y Transporte/  
Industry & Transport Division***

***Parque Tecnológico de San  
Sebastián***

***Mikeletegi Paselekua, 7***

***E-20009 Donostia-San Sebastián***

***Gipuzkoa (SPAIN)***

***T 902 760 000***

***T (International calls): (+34) 946 430  
850***

***Email: [alberto.diez@tecnalia.com](mailto:alberto.diez@tecnalia.com)***

***Web: [www.tecnalia.com](http://www.tecnalia.com)***

***Jose Antonio Pagán Rubio***

***Ingeniería de Diagnosis &  
Desarrollo de Producto***

***NAVANTIA (Grupo SEPI)***

***Ctra Algameca S/N***

***30201 Cartagena***

***Tel.: 968 128 174 – 968 128  
260***

***Email: [japagan@navantia.es](mailto:japagan@navantia.es)***

***Web: [www.navantia.es](http://www.navantia.es)***