



XVII Congreso de Confiabilidad

25 y 26 de noviembre de 2015. Parque Científico
y Tecnológico de Bizkaia. Zamudio (Bizkaia)





SISTEMA SIMPLIFICADO DE DETECCIÓN DE MAL FUNCIONAMIENTOS EN AEROGENERADORES PARA UN ENTORNO PRODUCTIVO REAL

**(a) Miguel Ángel Rodríguez López, (b) Luis María López
González, (a) Nuria López Triguero, (a) Ángel Marín
Guillén y (a) Antonio José Fernández Pérez**

Ingeniero Senior

(a) Iberdrola Ingeniería y Construcción SAU y (b) Universidad de La Rioja



Índice

- **Introducción al entorno**
- **Descripción general de la Metodología**
- **Pasos a seguir en el desarrollo**
 - **Estudio preliminar de las variables y comportamiento del equipo**
 - Tratamiento y limpieza de datos
 - Clasificación del dato y generación de variables adicionales
 - Regiones de operación
 - Estado del aerogenerador
 - Modelos de Comportamiento de la temperatura
 - Modelos Simples
 - Modelos Compuestos (Sistemas Expertos)
 - Modelo Cooperativos (proporcionales o selectivos)
 - Modelo Competitivo
 - Definición de Indicadores de Estado
- **Demostración de la funcionalidad**
- **Futuros trabajos**

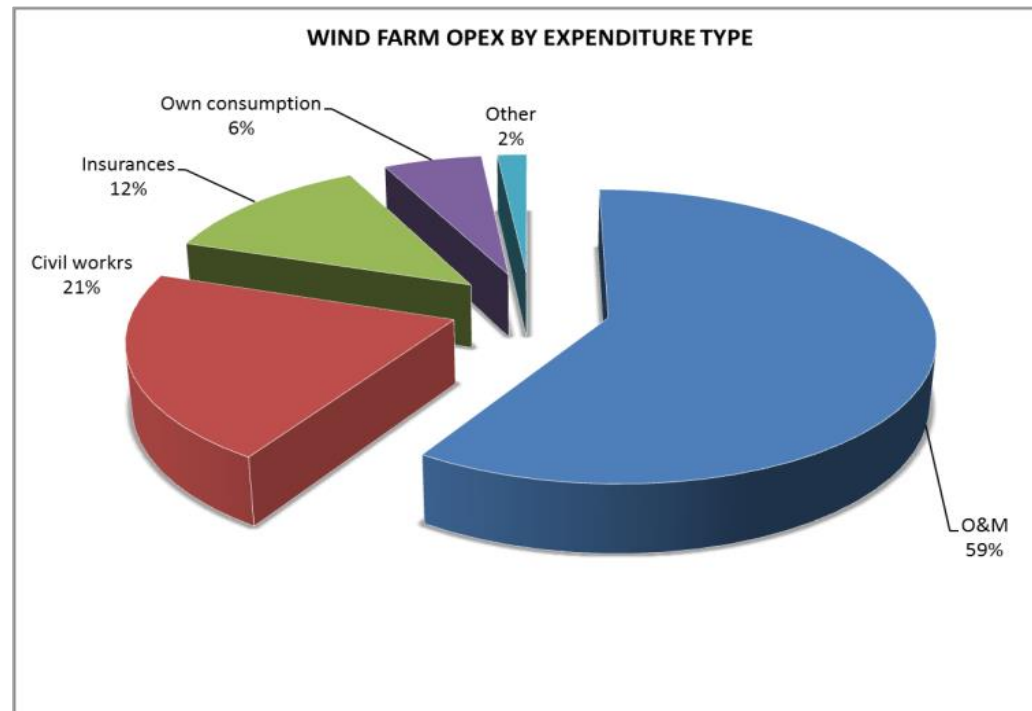
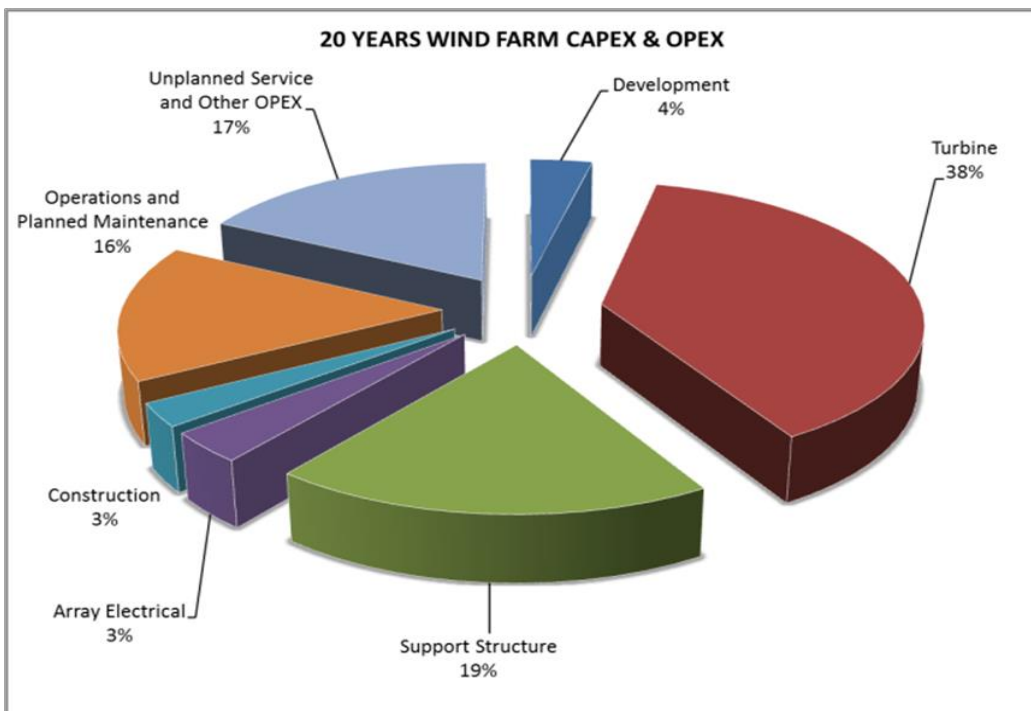


Índice

- **Introducción al entorno**
- Descripción general de la Metodología
- Pasos a seguir en el desarrollo
 - Estudio preliminar de las variables y comportamiento del equipo
 - Tratamiento y limpieza de datos
 - Clasificación del dato y generación de variables adicionales
 - Regiones de operación
 - Estado del aerogenerador
 - Modelos de Comportamiento de la temperatura
 - Modelos Simples
 - Modelos Compuestos (Sistemas Expertos)
 - Modelo Cooperativos (proporcionales o selectivos)
 - Modelo Competitivo
 - Definición de Indicadores de Estado
- Demostración de la funcionalidad
- Futuros trabajos



Resumen reparto costes CAPEX/OPEX de un parque eólico

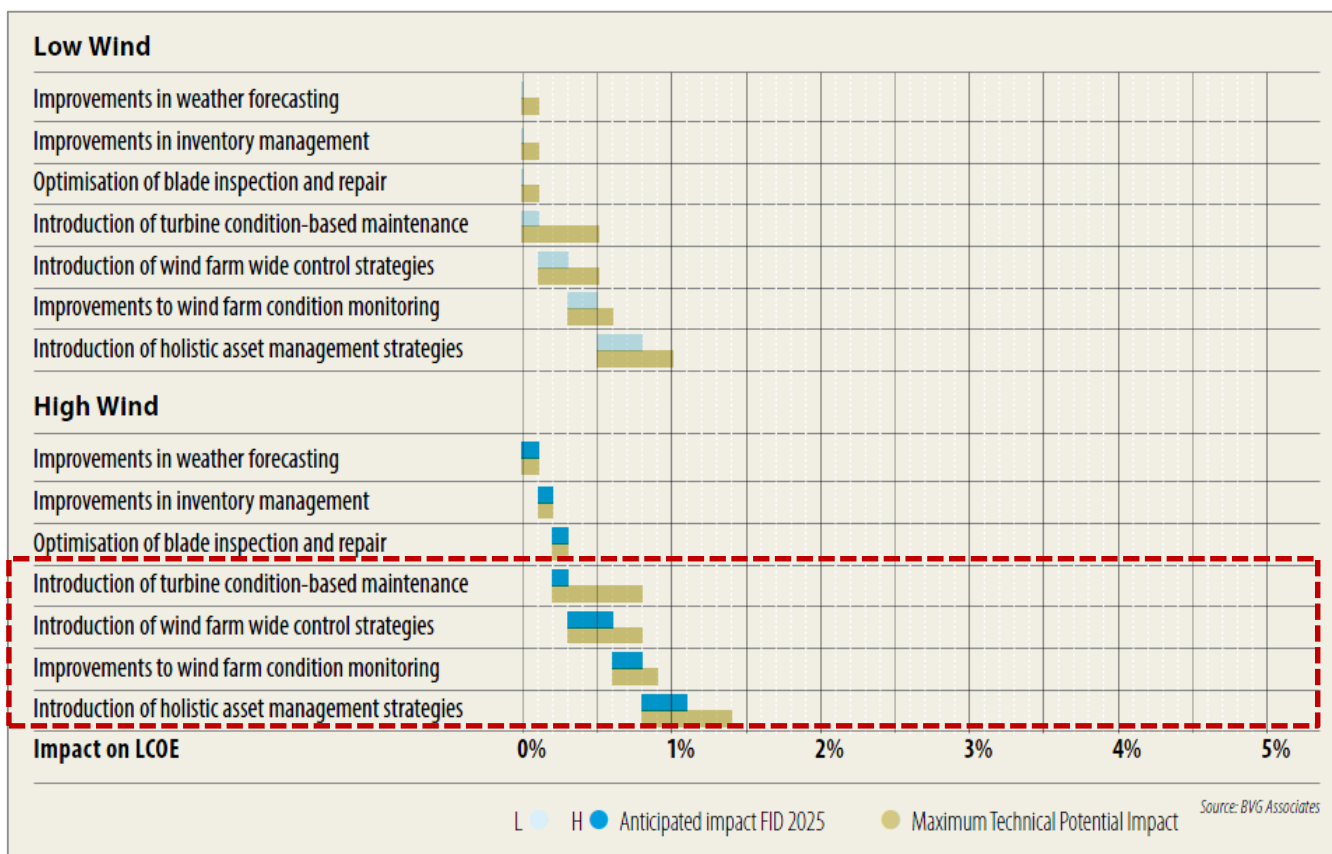


Desde el punto de vista de O&M, ¿Cómo puedo hacer más atractiva la Inversión en Eólica?

Aumentando la Rentabilidad a partir de proyectos de I+D+i



Líneas de Innovación en O&M

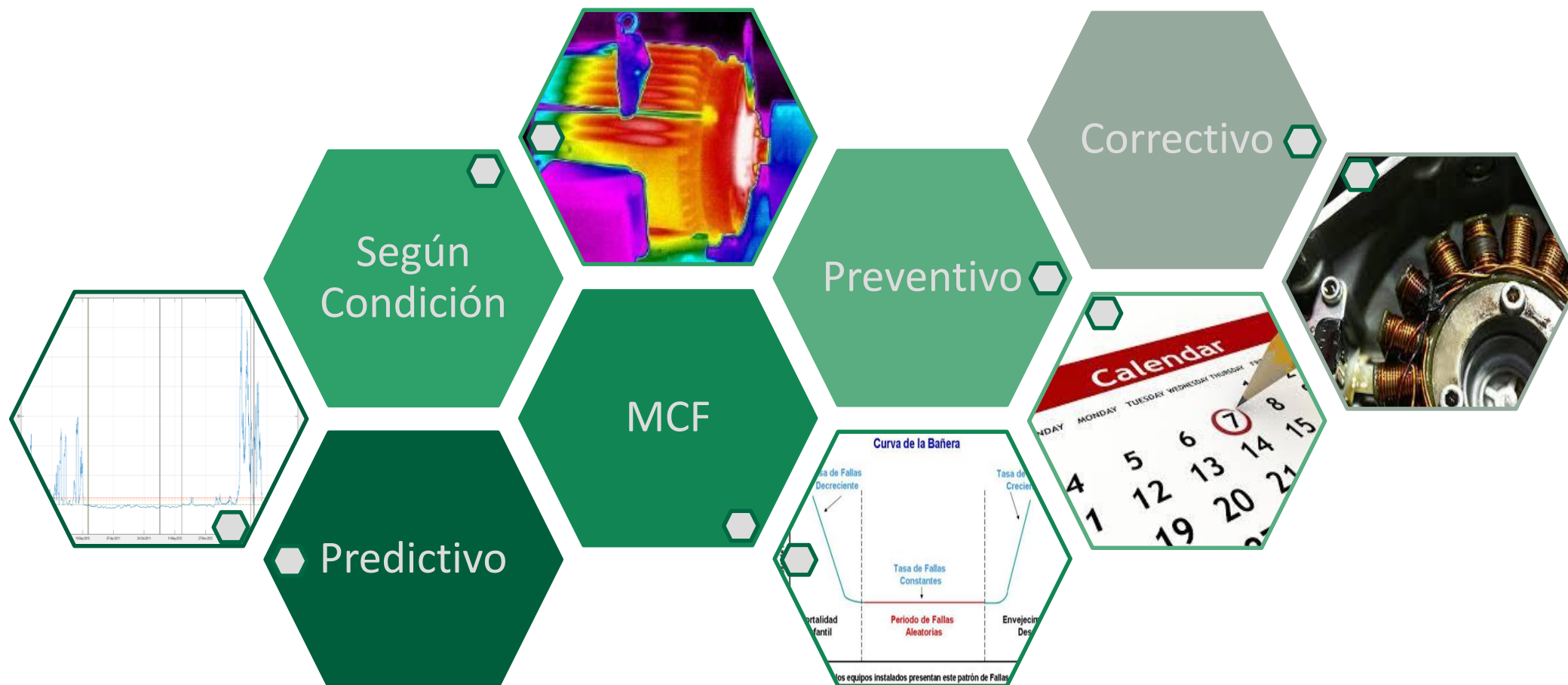


- Introducción del **mantenimiento basado en la condición** del aerogenerador
- Introducción de estrategias de control a nivel de parque
- Mejoras de los **sistemas de monitorización de la condición** del parque eólico
- Introducción de nuevas estrategias de control de activos

Reducción del coste de generación de energía 1%



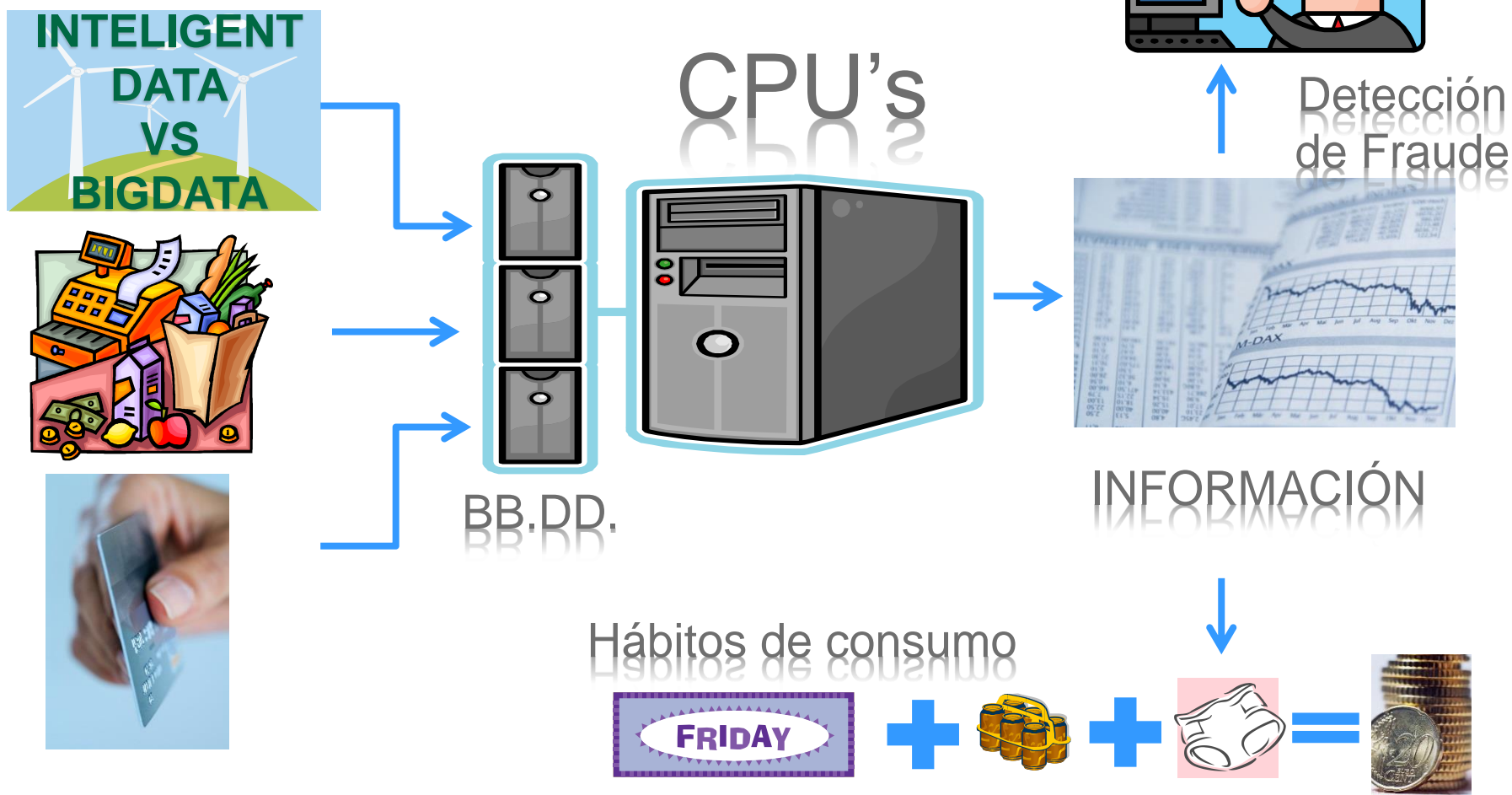
El Mantenimiento Industrial: Pasado, Presente y Futuro





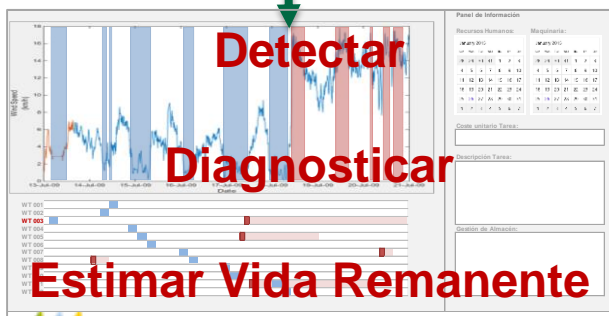
BigData y técnicas de IA (Inteligencia Artificial)

¿En que consiste la Minería de Datos?





Beneficios de la utilización del CBM en eólica





Índice

- Introducción al entorno
- **Descripción general de la Metodología**
- Pasos a seguir en el desarrollo
 - Estudio preliminar de las variables y comportamiento del equipo
 - Tratamiento y limpieza de datos
 - Clasificación del dato y generación de variables adicionales
 - Regiones de operación
 - Estado del aerogenerador
 - Modelos de Comportamiento de la temperatura
 - Modelos Simples
 - Modelos Compuestos (Sistemas Expertos)
 - Modelo Cooperativos (proporcionales o selectivos)
 - Modelo Competitivo
 - Definición de Indicadores de Estado
- Demostración de la funcionalidad
- Futuros trabajos



Premisas de la Metodología para un entorno productivo

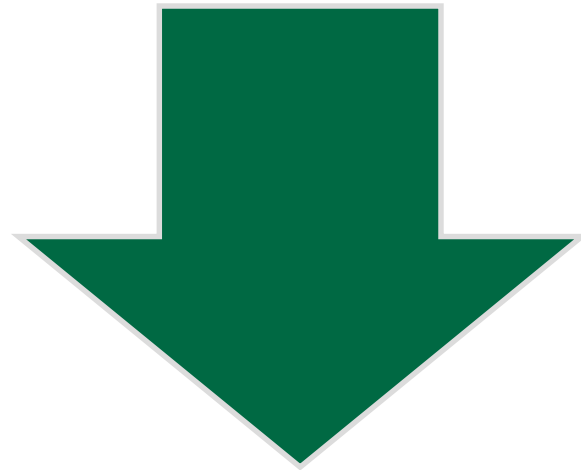
Robustez

Credibilidad

Replicabilidad



Comparativa de la Metodología frente a otros planteamientos



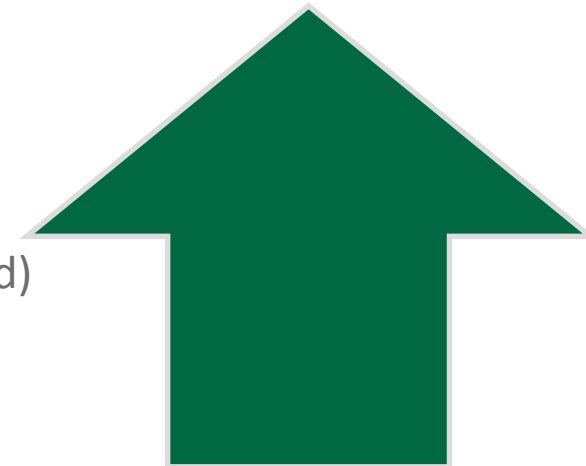
Metodología Entorno Productivo

- Menor calidad del Dato (elevado volumen de datos **Cantidad Vs Calidad**)
- **Modelos simples e Indicadores complejos.**
- Menos mantenimiento y rápido desarrollo. Menores requisitos de Hardware y Software.



Metodología Publicaciones Académicas

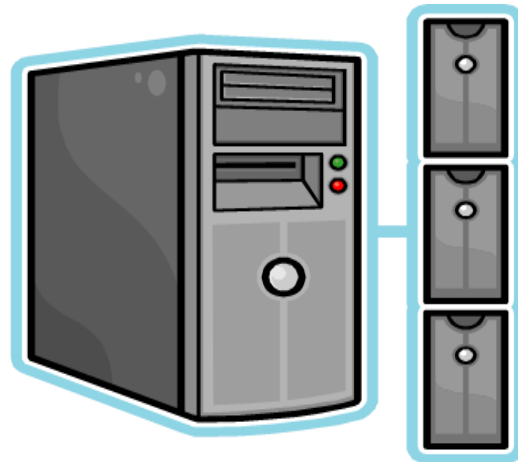
- Necesidad de datos “Perfectos” (Calidad Vs Cantidad)
- Modelos complejos e Indicadores simples.
- Alto coste de mantenimiento y desarrollo. Altos requisitos de Hardware y Software





Primera aproximación a la Metodología: Concepto General

Información de BB.DD.



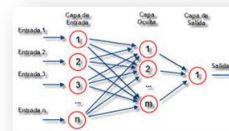
- Datos analógicos
- Var. De Operación
- Datos digitales
- Alarmas y Estados
- Datos de O&M
- Ordenes de trabajo

¿Qué metodología aplico? (Conocimiento matemático previo)



DATOS

- Selección de Datos
- Limpieza de Datos
- Normalización



Modelización

- Selección de Metodología
- Selección de Variables
- Cálculo del mejor Modelo



Indicadores

- Cálculo del Error
- Configuración de Indicadores
- Aplicación de los Indicadores

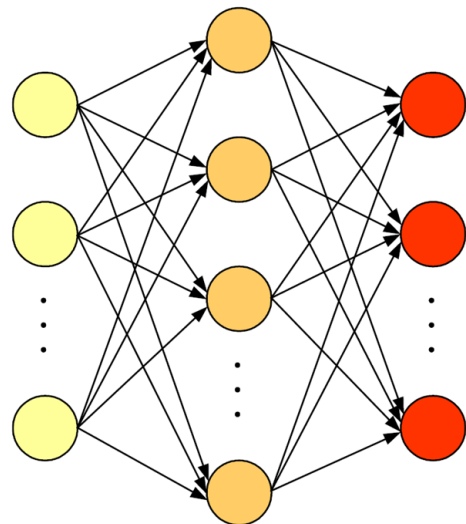


Matemática utilizada en la Metodología

RR.NN.



Modelo de comportamiento

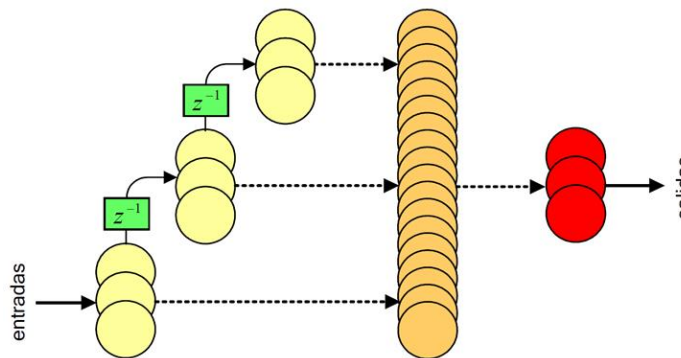


Lógica Fuzzy



Variables Especiales

Reglas Clasificación



ARMAX

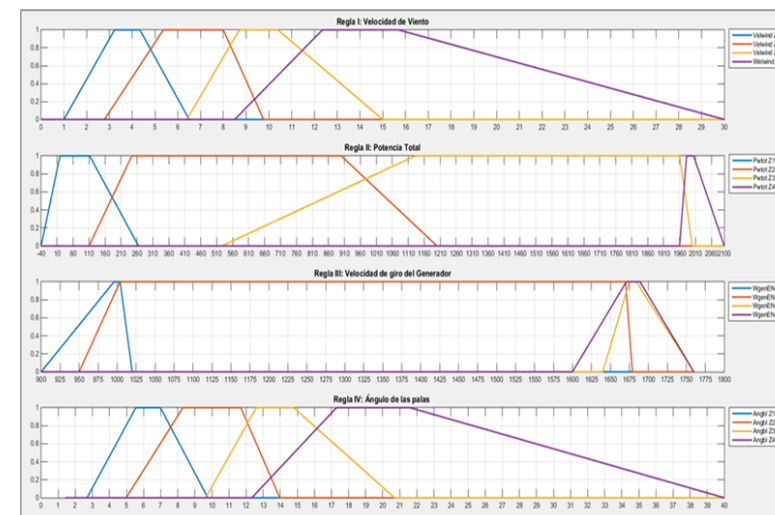


Modelo de comportamiento

MA



Indicadores de Estado



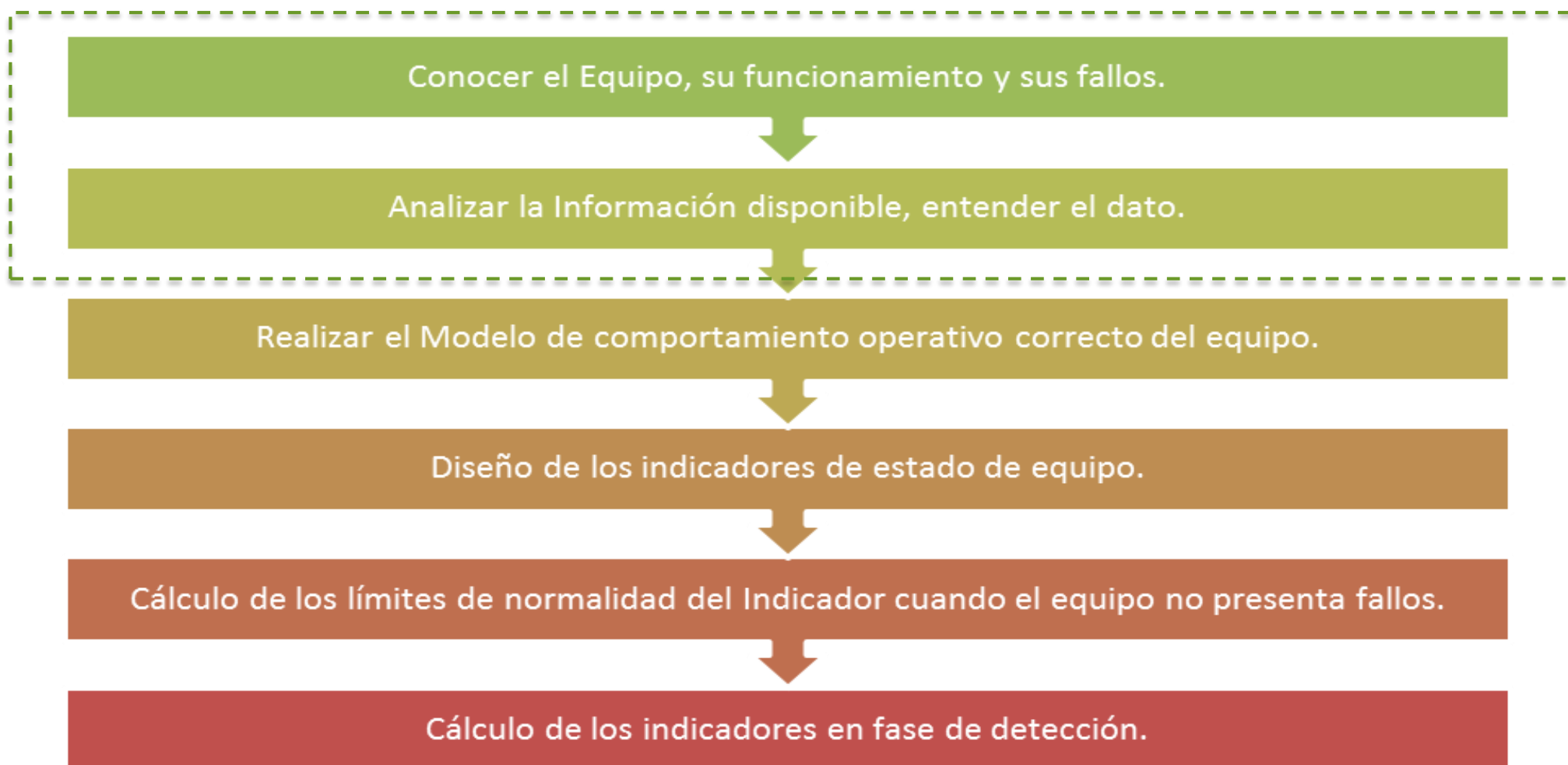


Índice

- Introducción al entorno
- Descripción general de la Metodología
- **Pasos a seguir en el desarrollo**
 - Estudio preliminar de las variables y comportamiento del equipo
 - Tratamiento y limpieza de datos
 - Clasificación del dato y generación de variables adicionales
 - Regiones de operación
 - Estado del aerogenerador
 - Modelos de Comportamiento de la temperatura
 - Modelos Simples
 - Modelos Compuestos (Sistemas Expertos)
 - Modelo Cooperativos (proporcionales o selectivos)
 - Modelo Competitivo
 - Definición de Indicadores de Estado
- Demostración de la funcionalidad
- Futuros trabajos



Etapas de implantación de la Metodología.





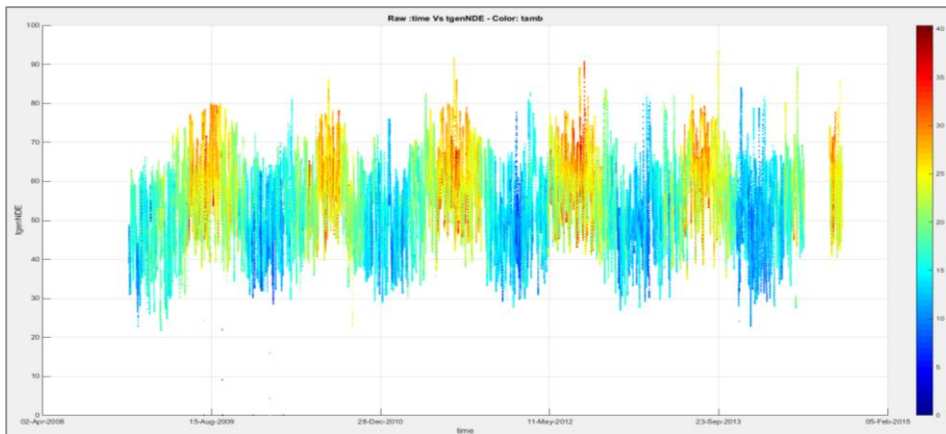
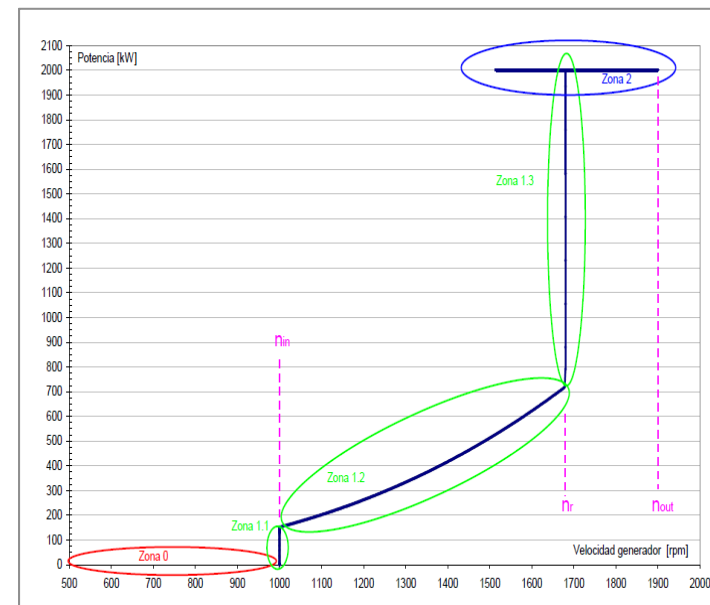
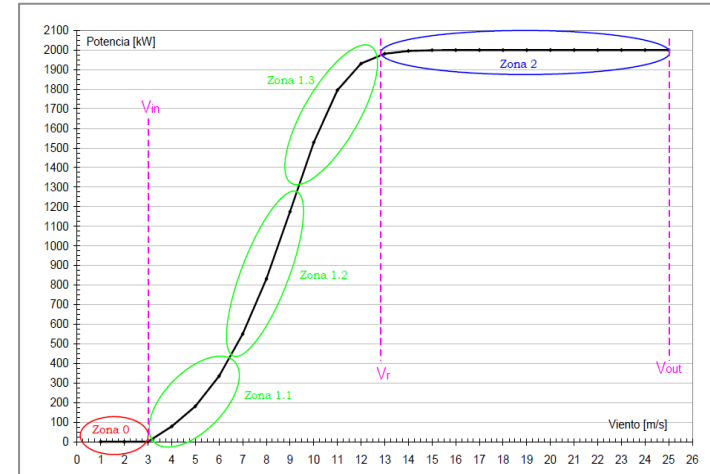
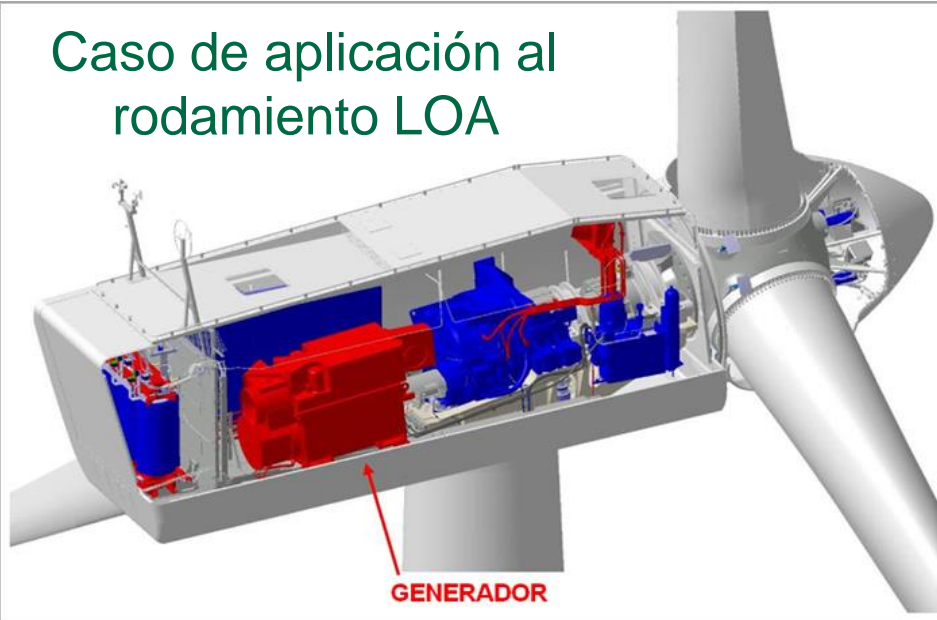
Índice

- Introducción al entorno
- Descripción general de la Metodología
- **Pasos a seguir en el desarrollo**
 - Estudio preliminar de las variables y comportamiento del equipo
 - Tratamiento y limpieza de datos
 - Clasificación del dato y generación de variables adicionales
 - Regiones de operación
 - Estado del aerogenerador
 - Modelos de Comportamiento de la temperatura
 - Modelos Simples
 - Modelos Compuestos (Sistemas Expertos)
 - Modelo Cooperativos (proporcionales o selectivos)
 - Modelo Competitivo
 - Definición de Indicadores de Estado
- Demostración de la funcionalidad
- Futuros trabajos



Aplicación Metodología: Conocimiento del comportamiento equipo

Caso de aplicación al rodamiento LOA



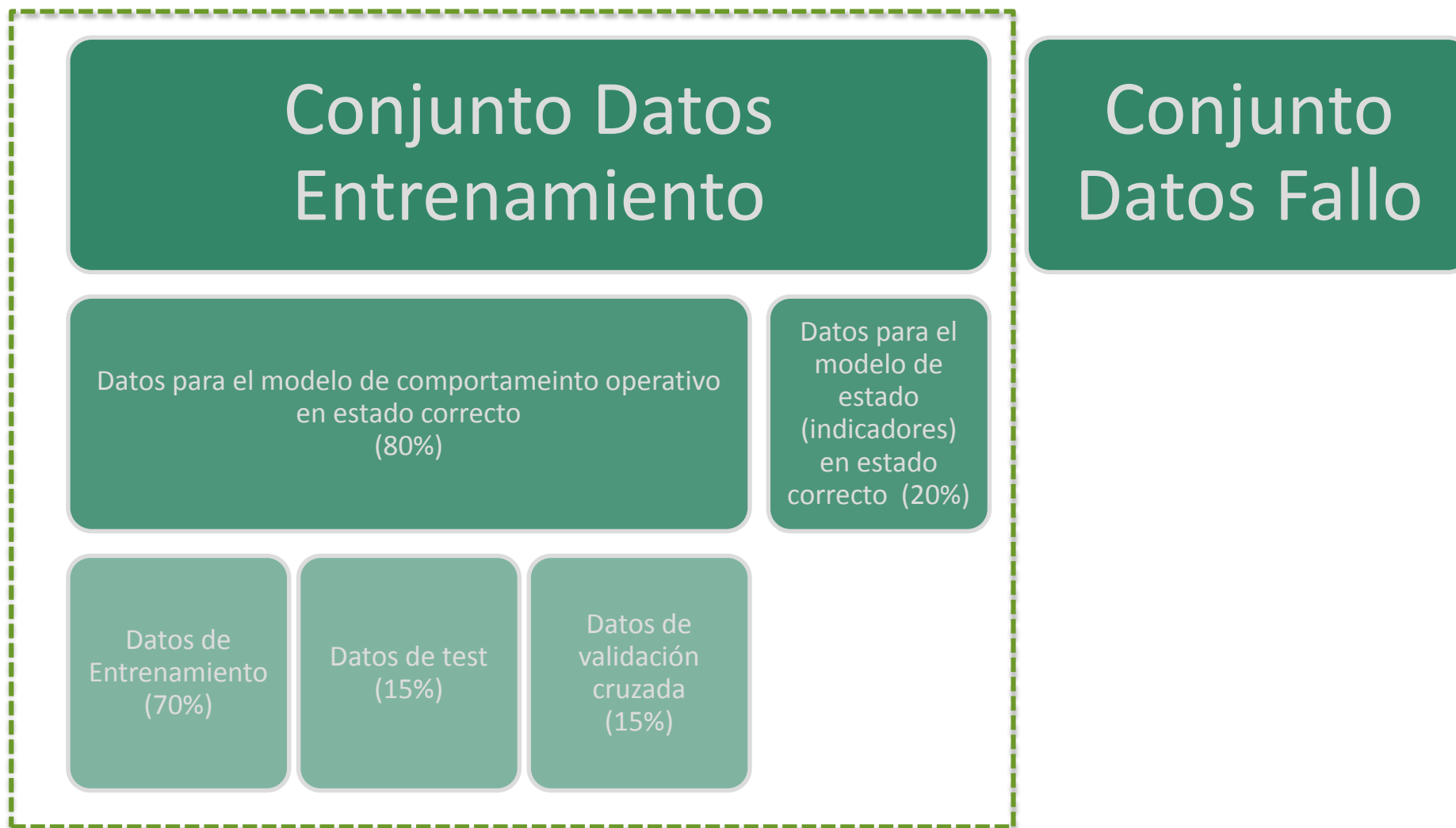


Índice

- Introducción al entorno
- Descripción general de la Metodología
- **Pasos a seguir en el desarrollo**
 - Estudio preliminar de las variables y comportamiento del equipo
 - **Tratamiento y limpieza de datos**
 - Clasificación del dato y generación de variables adicionales
 - Regiones de operación
 - Estado del aerogenerador
 - Modelos de Comportamiento de la temperatura
 - Modelos Simples
 - Modelos Compuestos (Sistemas Expertos)
 - Modelo Cooperativos (proporcionales o selectivos)
 - Modelo Competitivo
 - Definición de Indicadores de Estado
- Demostración de la funcionalidad
- Futuros trabajos



Aplicación Metodología: Tratamiento y limpieza de datos I





Aplicación Metodología: Tratamiento y limpieza de datos

Filtro Univariante

Filtro manual

Filtro estadístico
 $\mu \pm 3\sigma$

Normalización de datos

Normalización

$$i_v \text{ Normalizado} = \frac{i_v - \mu}{\sigma}$$

$$\mu = \frac{\sum_{v=1}^n i_v}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{v=1}^n (i_v - \mu)^2}{n}}$$

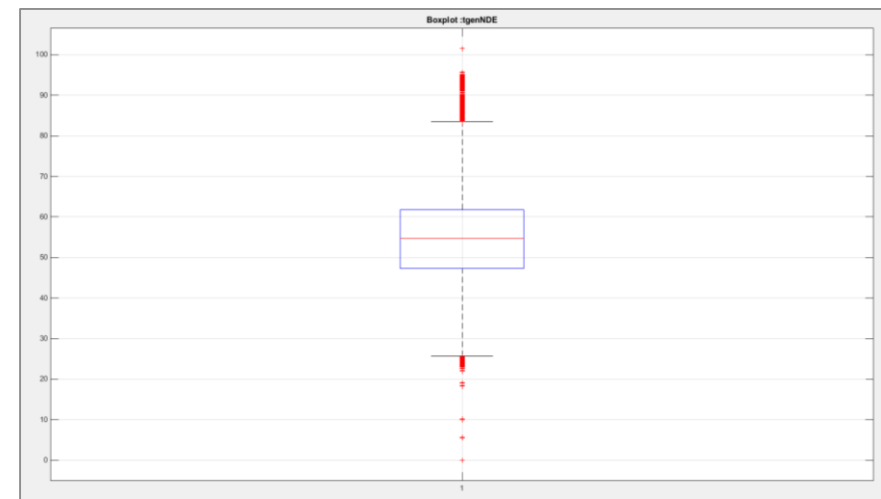
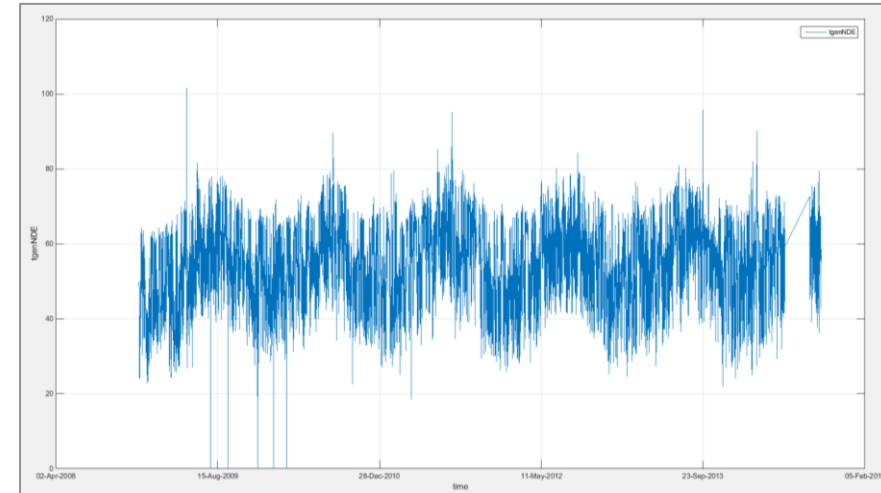
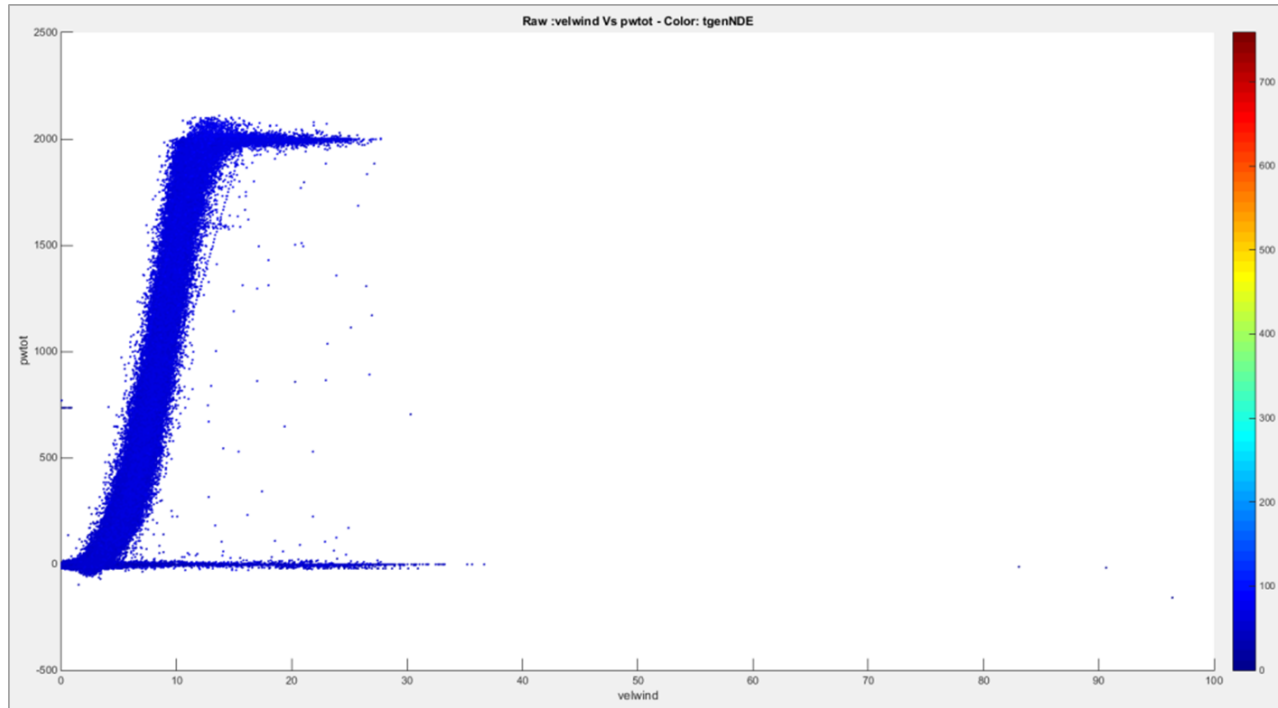
Filtro Multivariante

Técnicas de Clusterizado
(distancia Euclidiana)

$$d = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2}$$
$$= \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2}$$



Identificación de datos Aberrante: Filtro manual



<i>tgenNDE</i>	General	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Mínimo	29	25.5	30.2	37.94	31.7
Percentil 25	48.4	43.63	89.2	54.81	49.5
Mediana	54.9	49.4	54.5	60.3	55.5
Percentil 75	61.3	55.55	60.86	66	61.4
Máximo	80.76	73.7	70.1	83.5	79.1

De las variables seleccionadas se realizó un estudio de los valores normales de operación



Aplicación Metodología: Tratamiento y limpieza de datos

Filtro Univariante

Filtro manual

Filtro estadístico
 $\mu \pm 3\sigma$

Normalización de datos

Normalización

$$i_v \text{ Normalizado} = \frac{i_v - \mu}{\sigma}$$

$$\mu = \frac{\sum_{v=1}^n i_v}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{v=1}^n (i_v - \mu)^2}{n}}$$

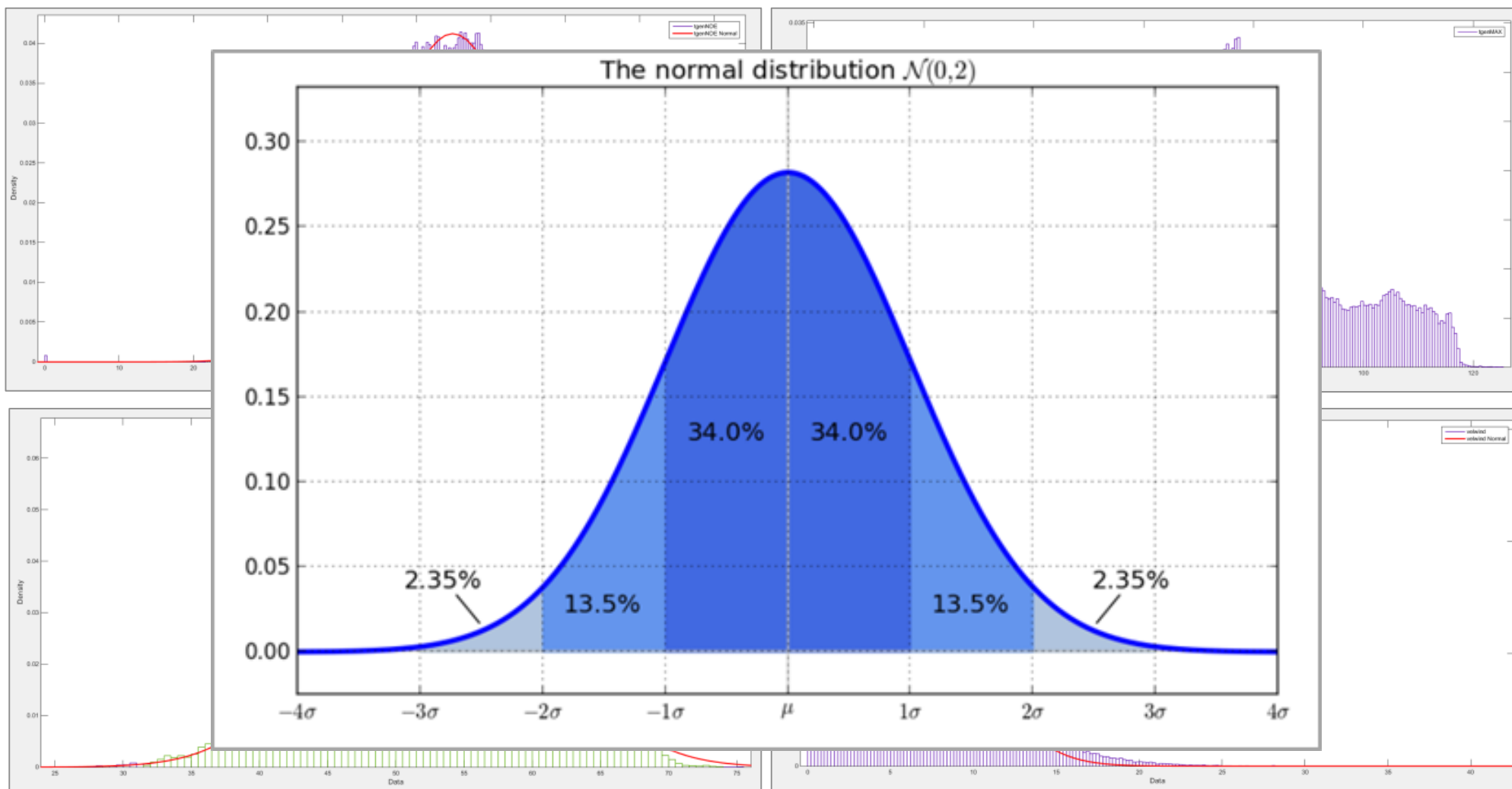
Filtro Multivariante

Técnicas de Clusterizado
(distancia Euclidiana)

$$d = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2}$$
$$= \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2}$$



Identificación de datos Aberrantes: Filtrado estadístico





Aplicación Metodología: Tratamiento y limpieza de datos

Filtro Univariante

Filtro manual

Filtro estadístico
 $\mu \pm 3\sigma$

Normalización de datos

Normalización

$$i_v \text{ Normalizado} = \frac{i_v - \mu}{\sigma}$$

$$\mu = \frac{\sum_{v=1}^n i_v}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{v=1}^n (i_v - \mu)^2}{n}}$$

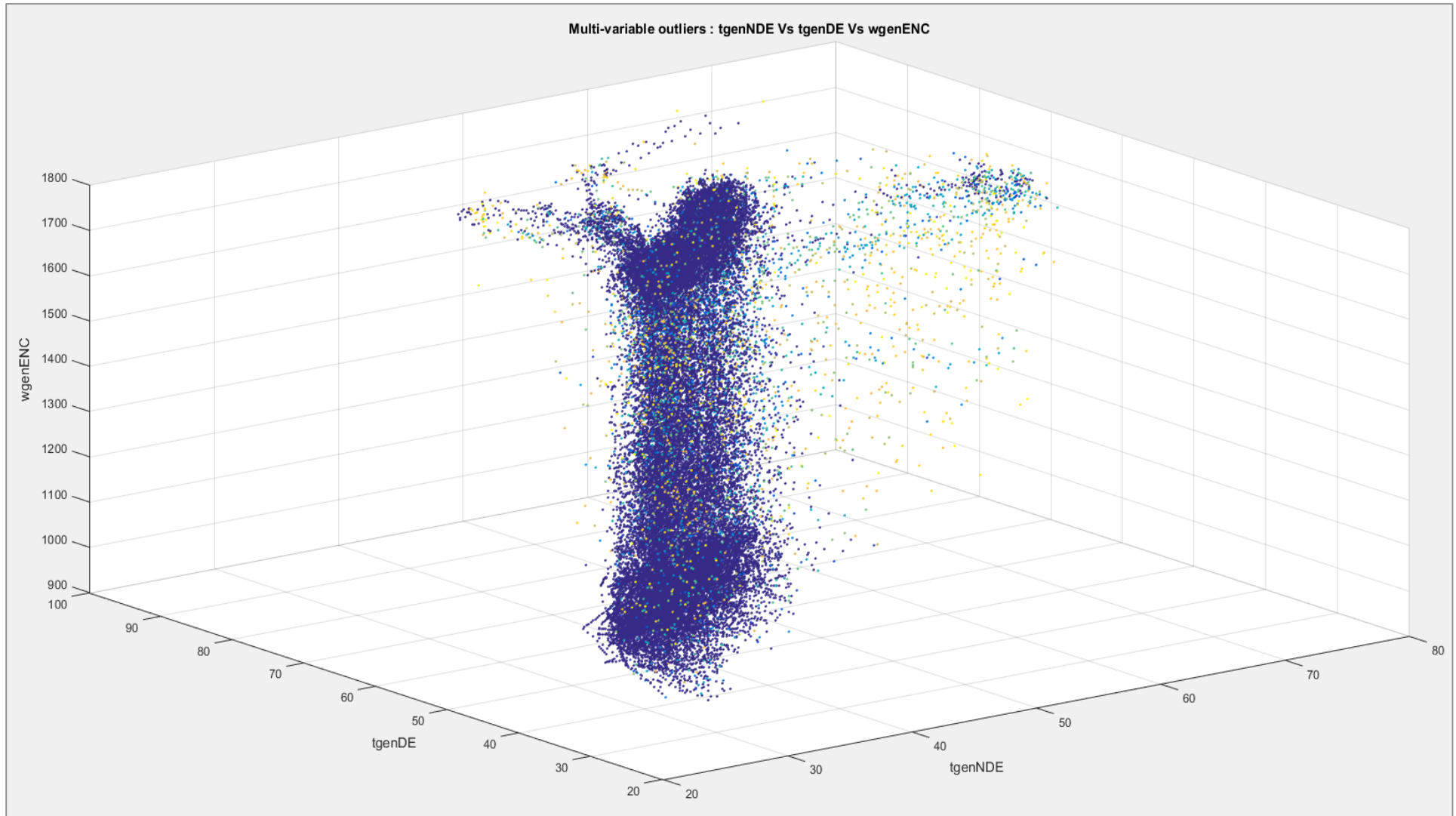
Filtro Multivariante

Técnicas de Clusterizado
(distancia Euclidiana)

$$d = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2}$$
$$= \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2}$$



Identificación de datos Aberrantes con técnicas Multivariante



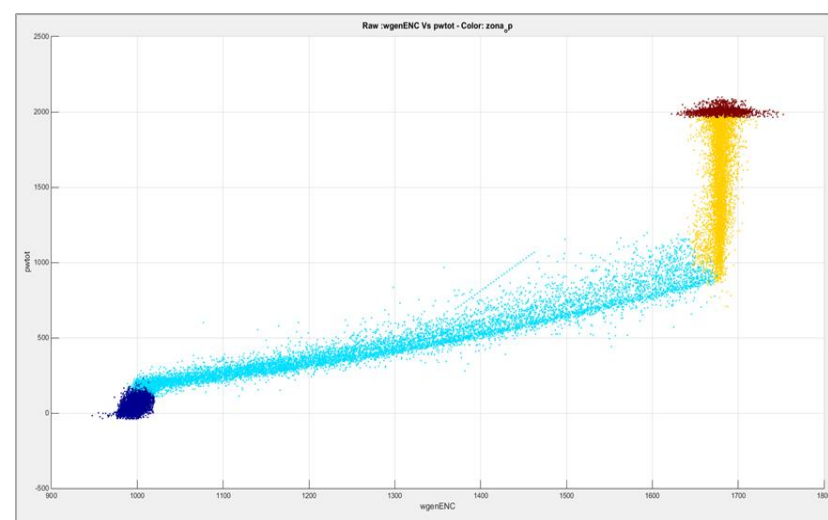
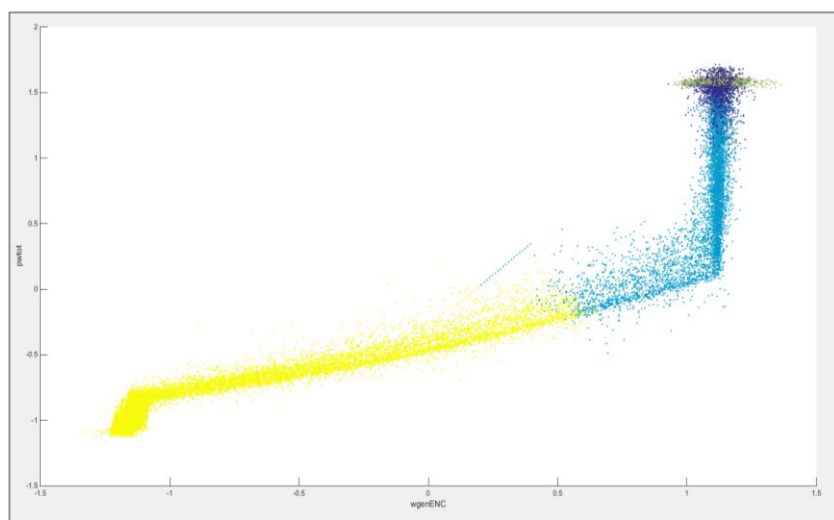
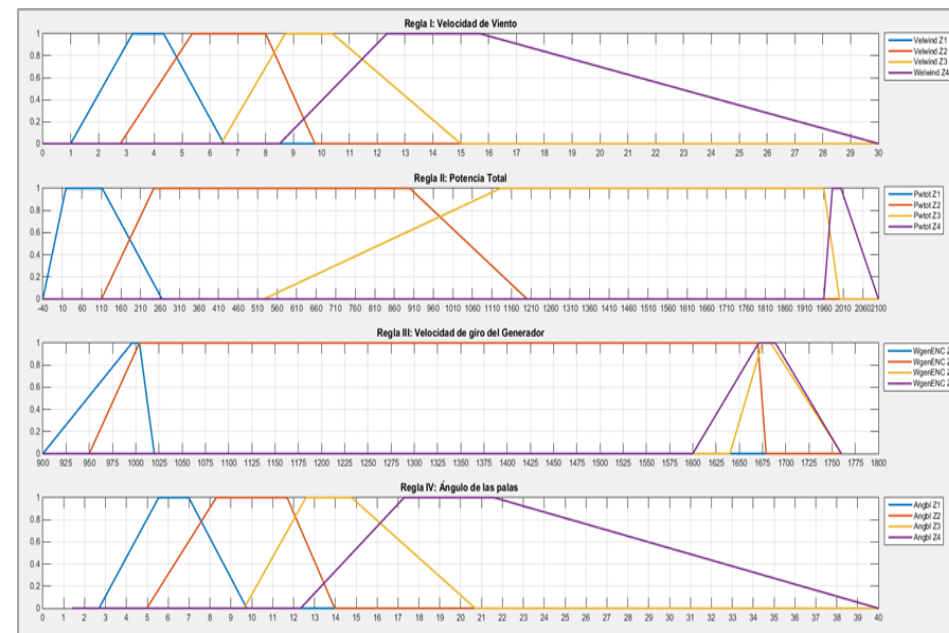
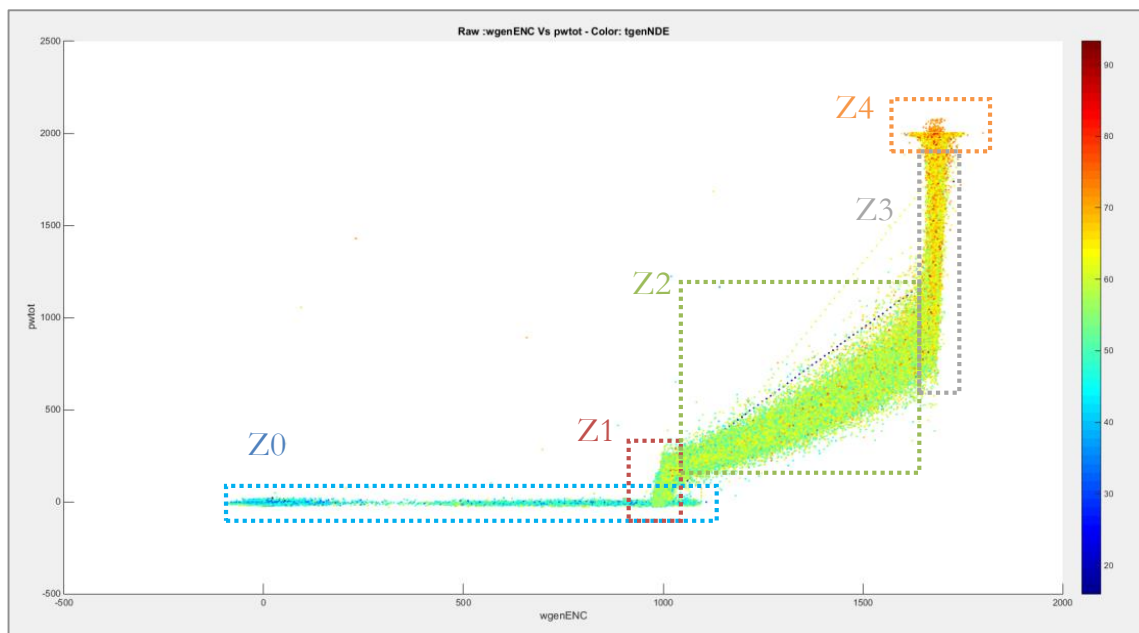


Índice

- Introducción al entorno
- Descripción general de la Metodología
- **Pasos a seguir en el desarrollo**
 - Estudio preliminar de las variables y comportamiento del equipo
 - Tratamiento y limpieza de datos
 - **Clasificación del dato y generación de variables adicionales**
 - **Regiones de operación**
 - **Estado del aerogenerador**
 - Modelos de Comportamiento de la temperatura
 - Modelos Simples
 - Modelos Compuestos (Sistemas Expertos)
 - Modelo Cooperativos (proporcionales o selectivos)
 - Modelo Competitivo
 - Definición de Indicadores de Estado
- Demostración de la funcionalidad
- Futuros trabajos

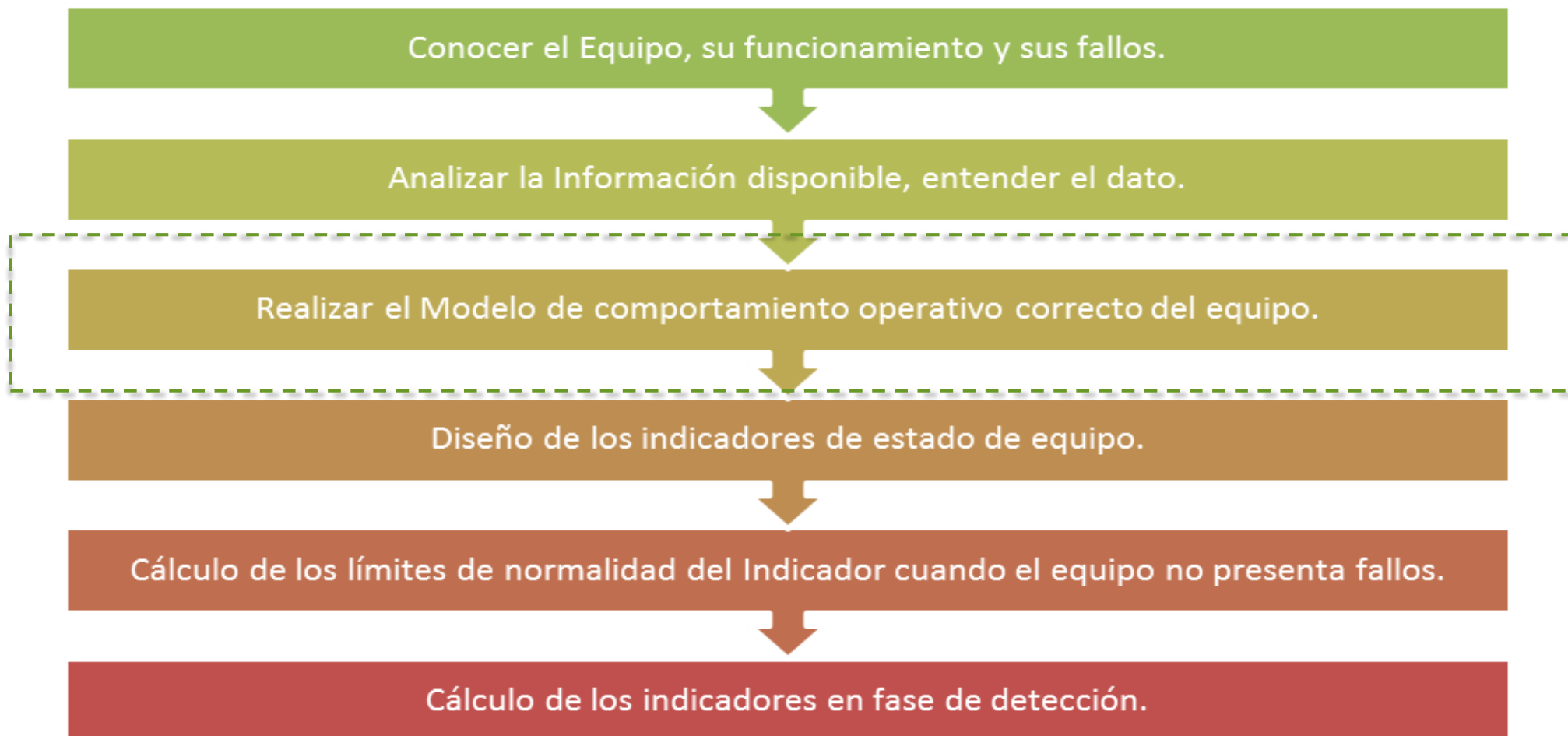


Aplicación Metodología: Clasificación del Dato





Etapas de implantación de la Metodología.





Aplicación Metodología: Datos para el Modelo

Conjunto Datos
Entrenamiento

Conjunto
Datos Fallo

Datos para el modelo de comportamiento operativo
en estado correcto
(80%)

Datos para el
modelo de
estado
(indicadores)
en estado
correcto (20%)

Datos de
Entrenamiento
(70%)

Datos de test
(15%)

Datos de
validación
cruzada
(15%)

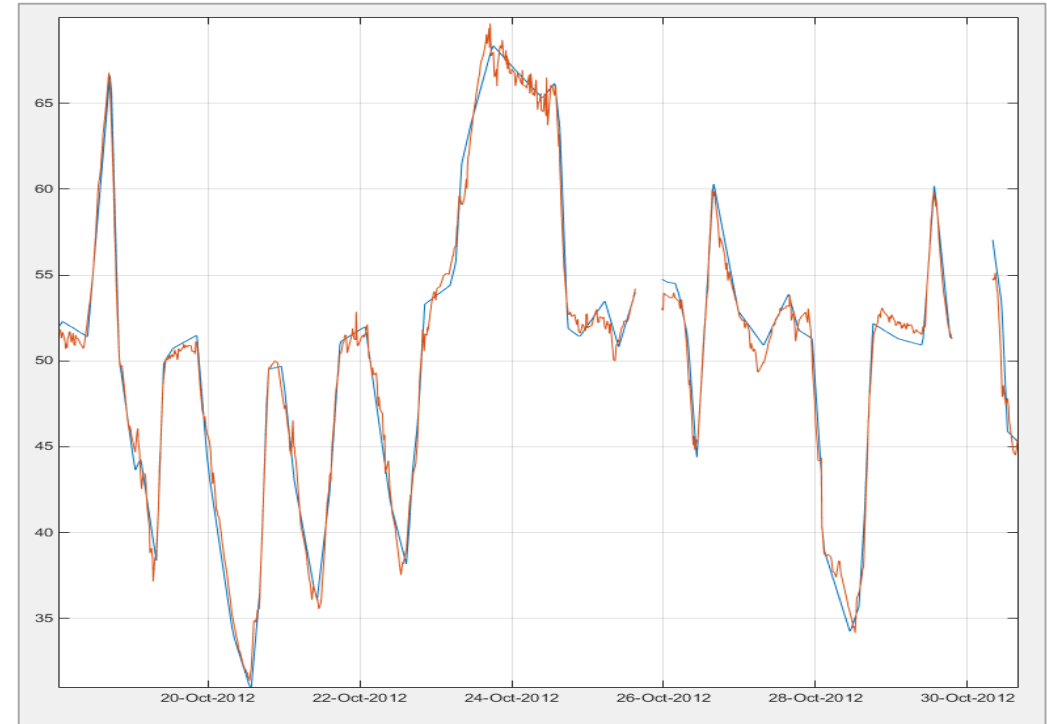


Índice

- Introducción al entorno
- Descripción general de la Metodología
- **Pasos a seguir en el desarrollo**
 - Estudio preliminar de las variables y comportamiento del equipo
 - Tratamiento y limpieza de datos
 - Clasificación del dato y generación de variables adicionales
 - Regiones de operación
 - Estado del aerogenerador
 - **Modelos de Comportamiento de la temperatura**
 - **Modelos Simples**
 - Modelos Compuestos (Sistemas Expertos)
 - Modelo Cooperativos (proporcionales o selectivos)
 - Modelo Competitivo
 - Definición de Indicadores de Estado
- Demostración de la funcionalidad
- Futuros trabajos



Aplicación Metodología: Modelos de Comportamiento (simples)



Optimización de los modelos de temperatura del rodamiento LOA



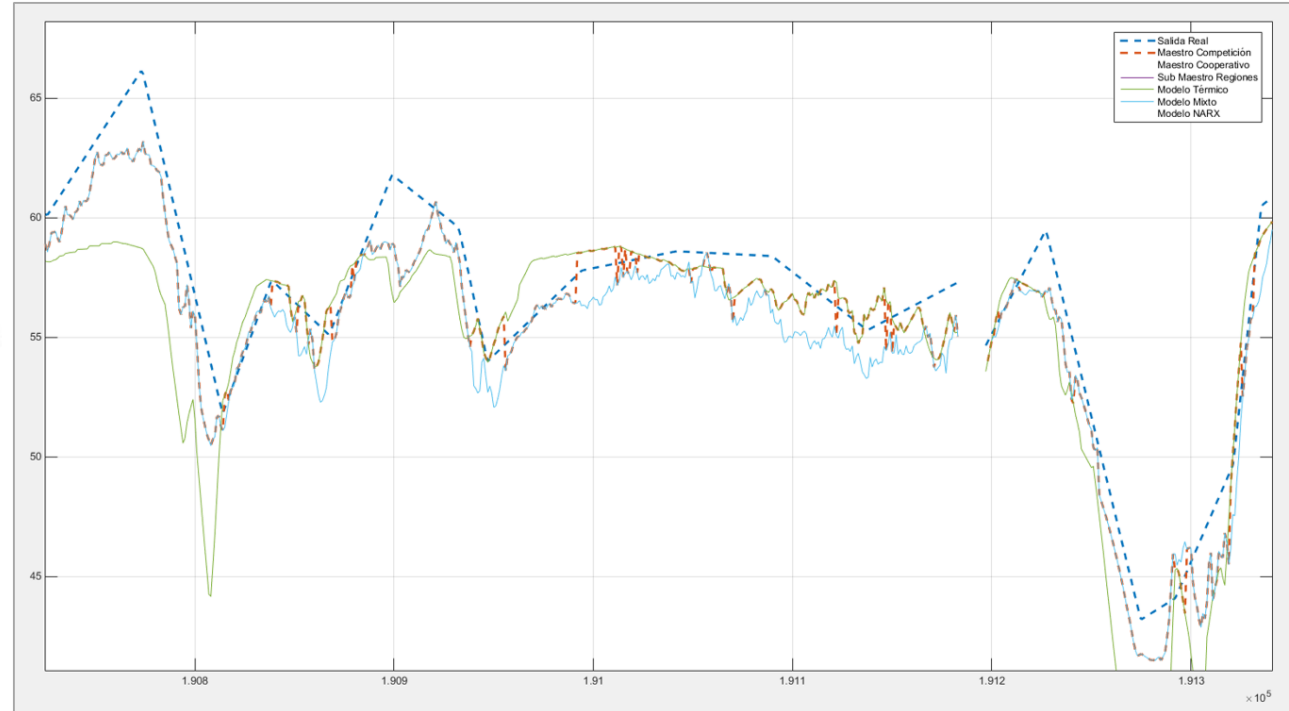
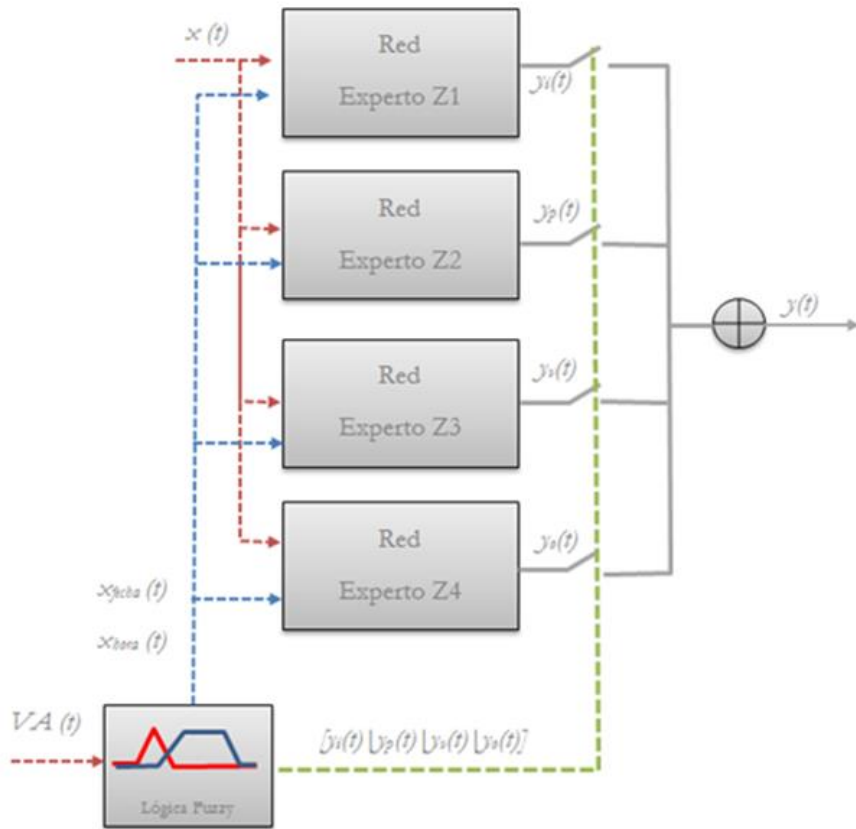


Índice

- Introducción al entorno
- Descripción general de la Metodología
- **Pasos a seguir en el desarrollo**
 - Estudio preliminar de las variables y comportamiento del equipo
 - Tratamiento y limpieza de datos
 - Clasificación del dato y generación de variables adicionales
 - Regiones de operación
 - Estado del aerogenerador
 - **Modelos de Comportamiento de la temperatura**
 - Modelos Simples
 - **Modelos Compuestos (Sistemas Expertos)**
 - **Modelo Cooperativos (proporcionales o selectivos)**
 - **Modelo Competitivo**
 - Definición de Indicadores de Estado
- Demostración de la funcionalidad
- Futuros trabajos



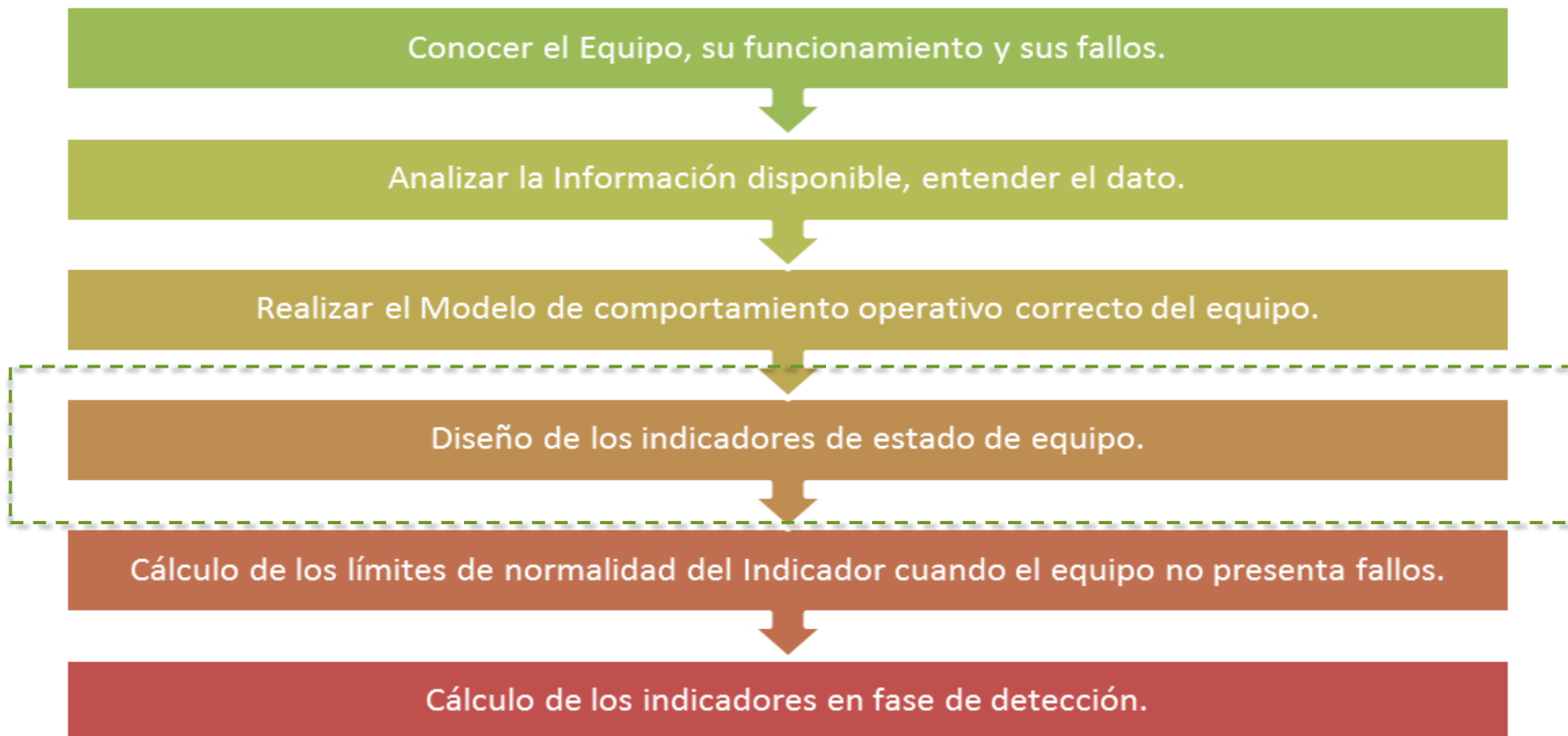
Aplicación Metodología: Modelos de Comportamiento (Complejos)



Mejora de la Credibilidad y Robustez

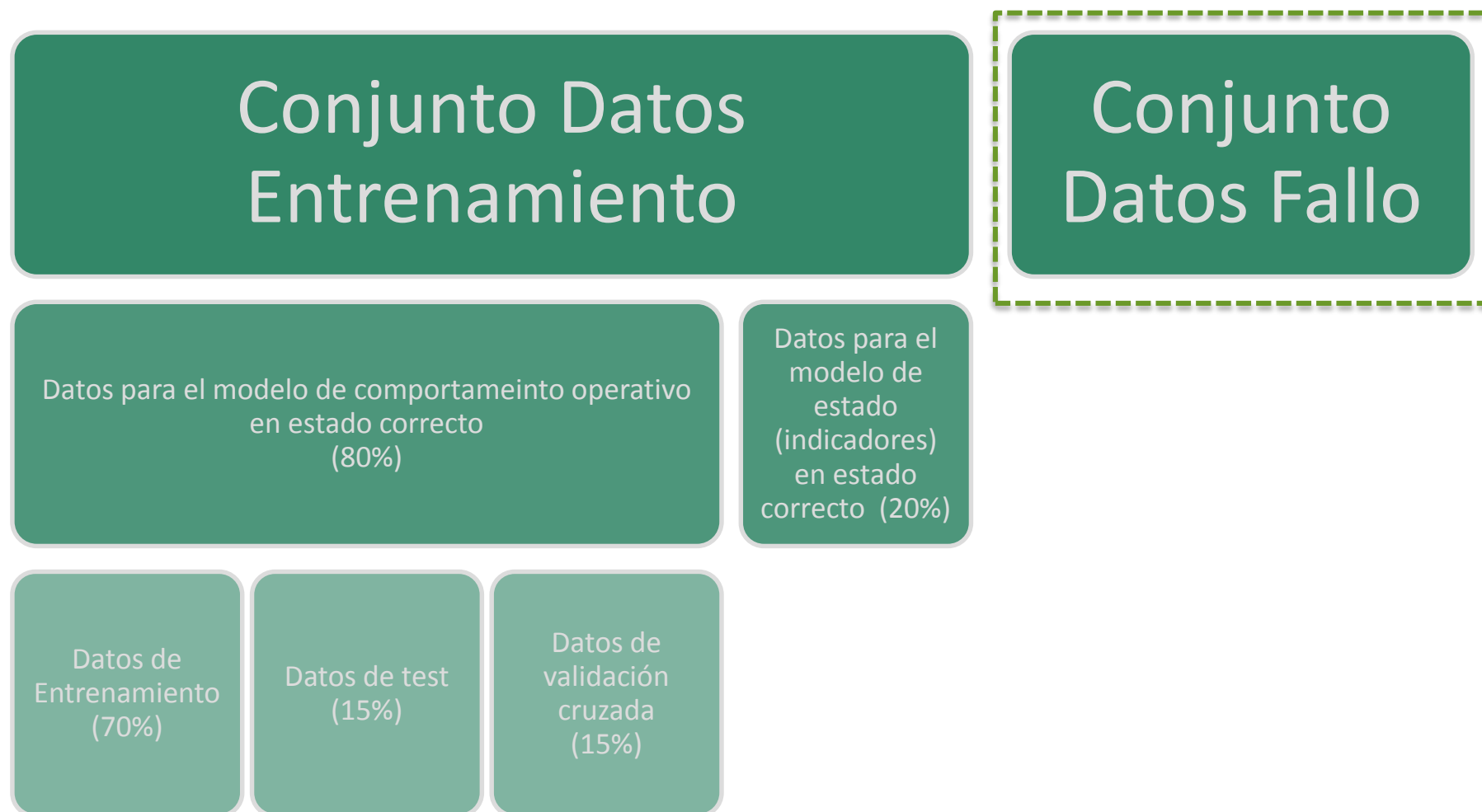


Etapas de implantación de la Metodología.



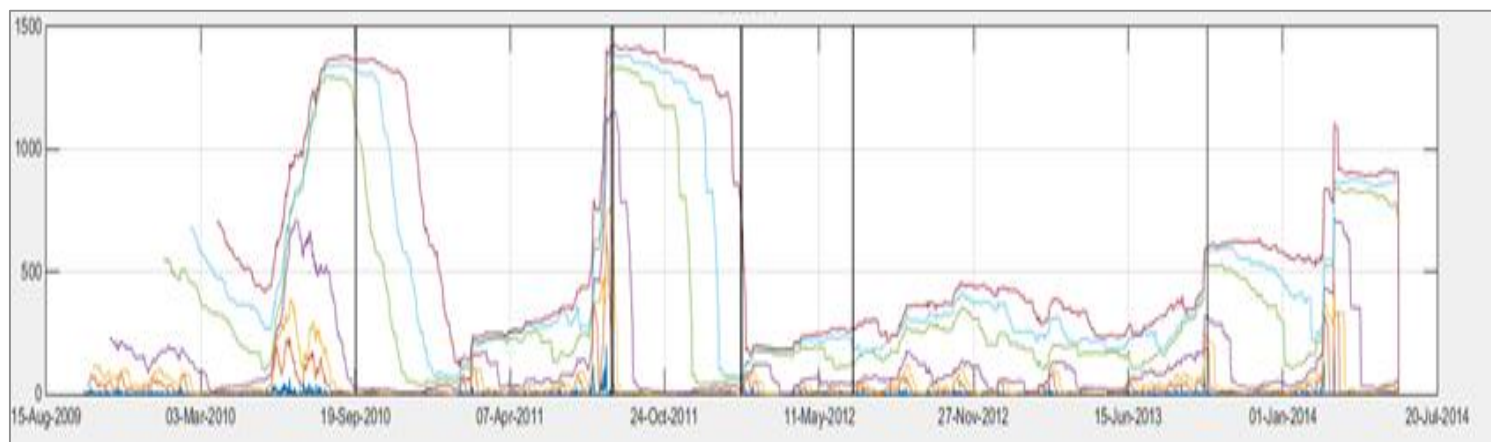
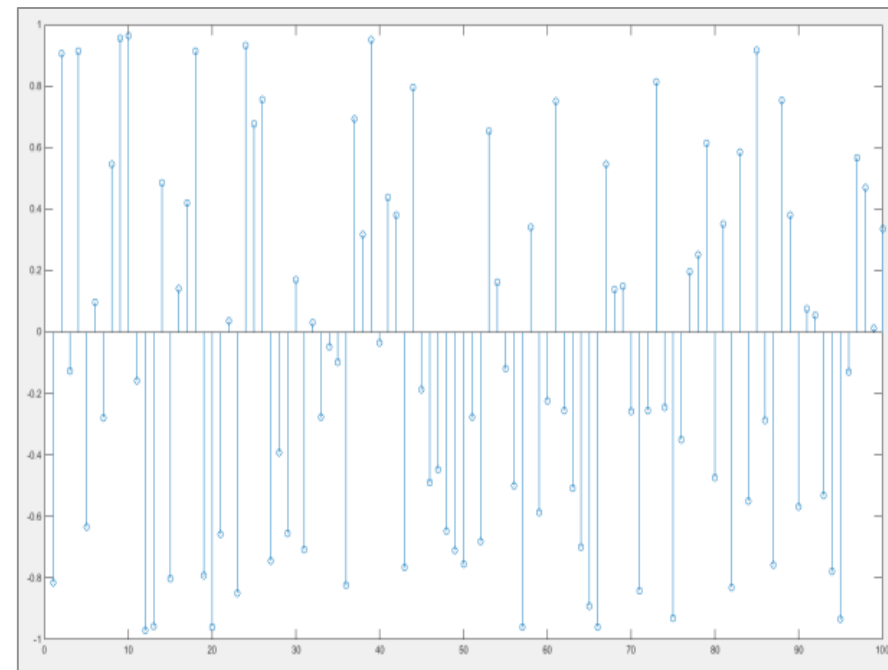
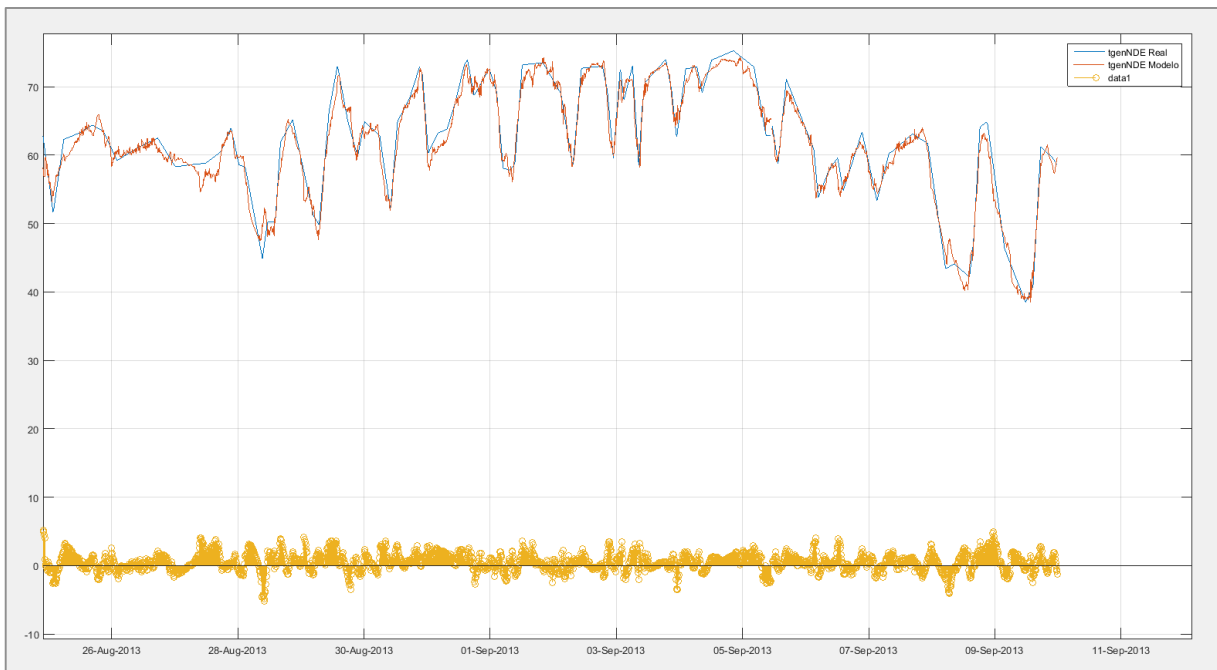


Aplicación Metodología: Datos para el ajuste de Indicadores





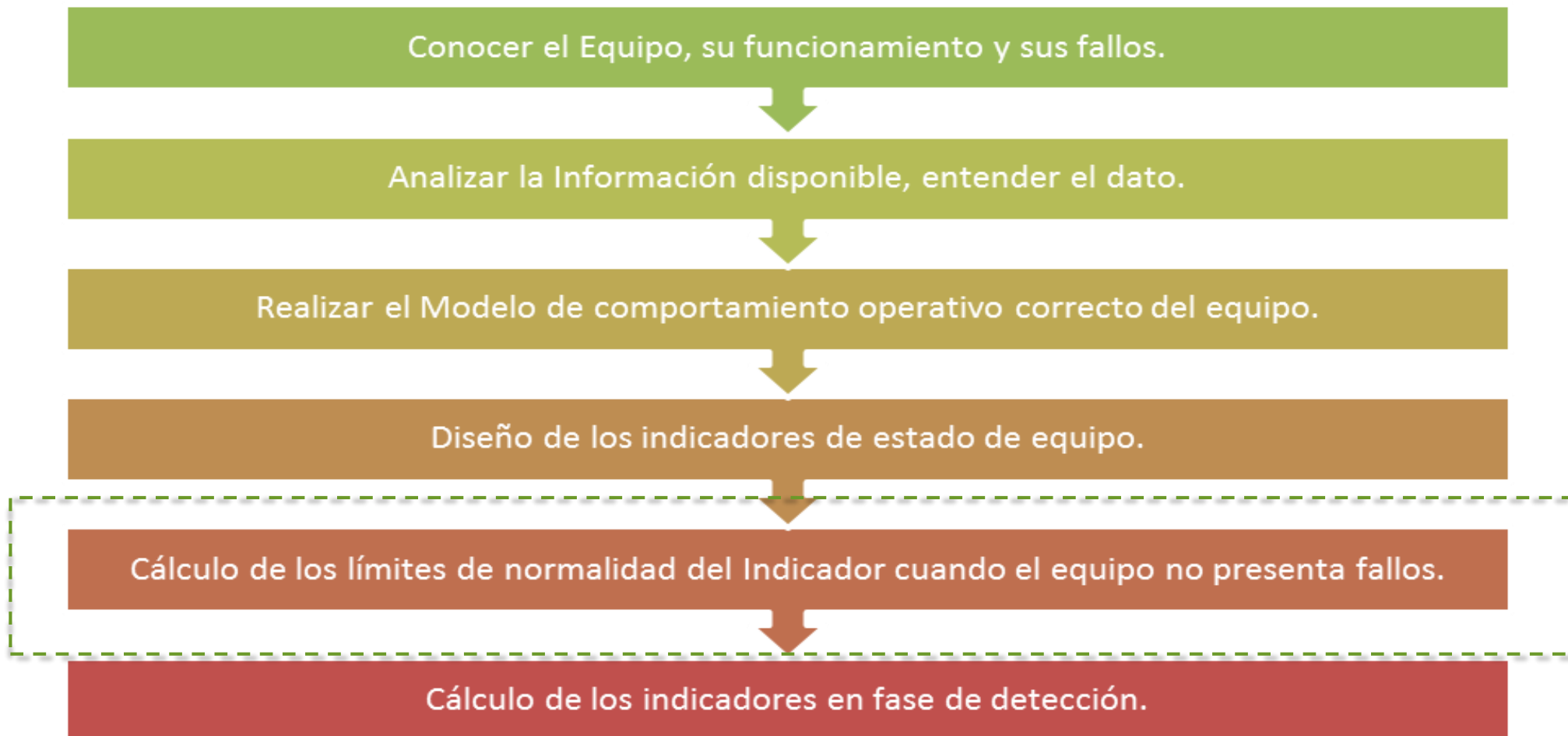
Aplicación Metodología: Diseño de los Indicadores de Estado



$$Ind = \frac{\sum_{n=t-T}^t Error(n)}{T}$$
$$Error(n) = TReal_n - TModelo_n$$



Etapas de implantación de la Metodología.



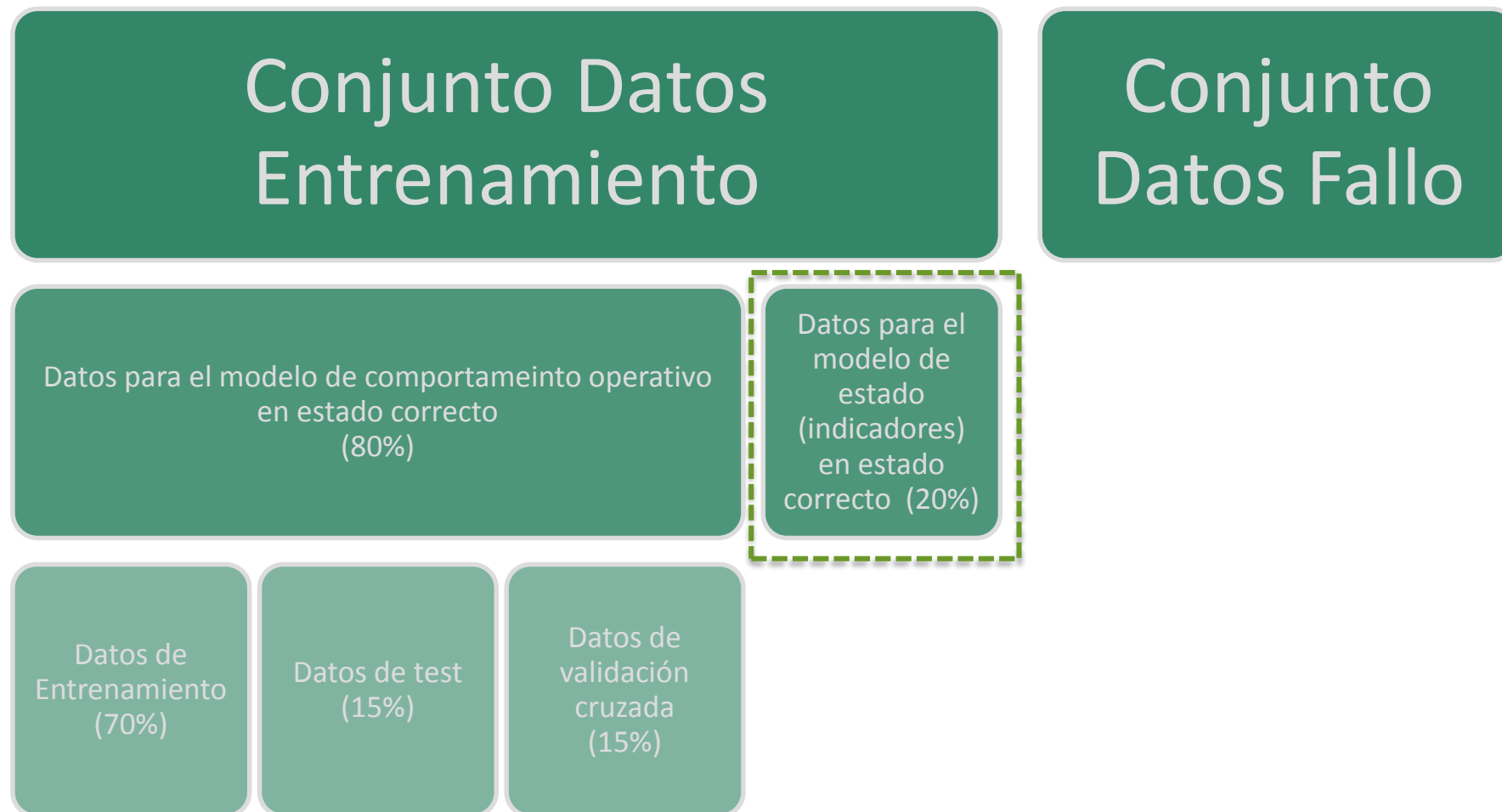


Índice

- Introducción al entorno
- Descripción general de la Metodología
- **Pasos a seguir en el desarrollo**
 - Estudio preliminar de las variables y comportamiento del equipo
 - Tratamiento y limpieza de datos
 - Clasificación del dato y generación de variables adicionales
 - Regiones de operación
 - Estado del aerogenerador
 - Modelos de Comportamiento de la temperatura
 - Modelos Simples
 - Modelos Compuestos (Sistemas Expertos)
 - Modelo Cooperativos (proporcionales o selectivos)
 - Modelo Competitivo
 - **Definición de Indicadores de Estado**
- Demostración de la funcionalidad
- Futuros trabajos

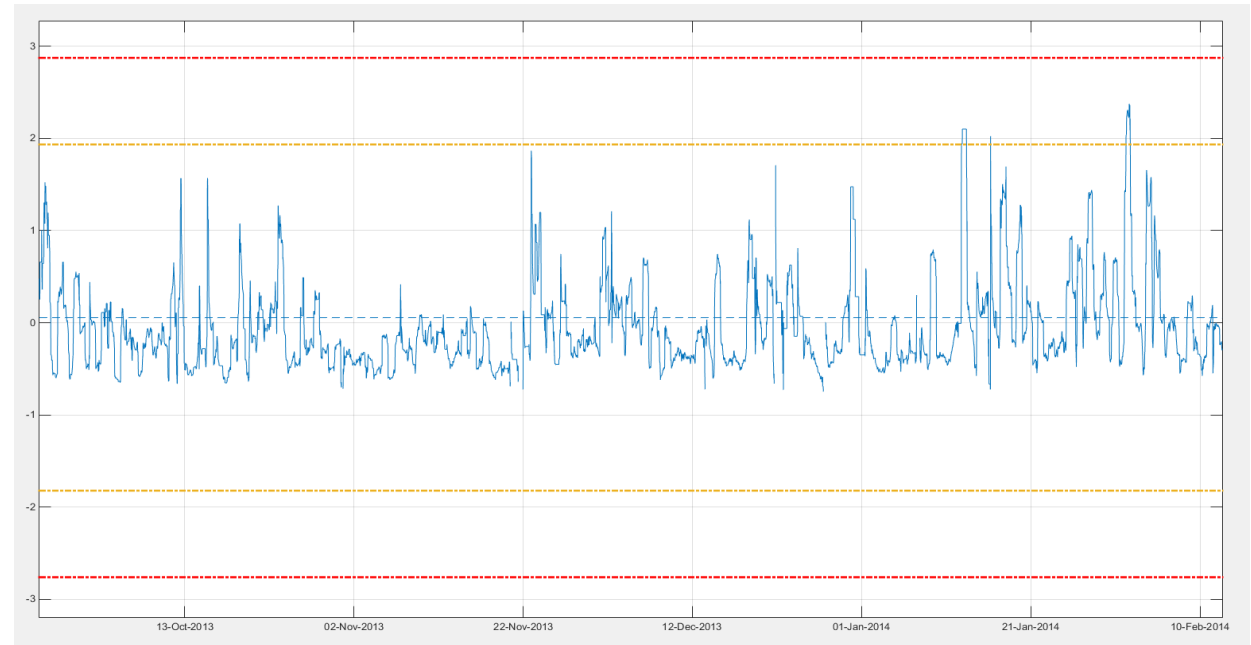
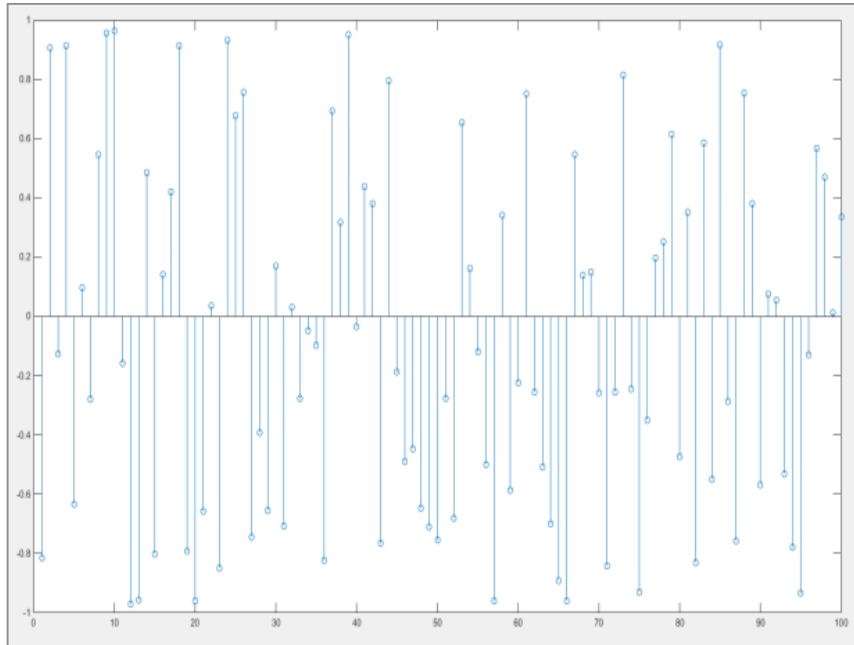


Aplicación Metodología: Datos para el ajuste de Indicadores





Aplicación Metodología: Límites de Normalidad del Indicador de Estado



$$Ind = \frac{\sum_{n=t-T}^t Error(n)}{T}$$
$$Error(n) = TReal_n - TModelo_n$$

$$\mu = \frac{\sum_{v=1}^n i_v}{n}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{v=1}^n (i_v - \mu)^2}{n}}$$



Etapas de implantación de la Metodología.

Conocer el Equipo, su funcionamiento y sus fallos.



Analizar la Información disponible, entender el dato.



Realizar el Modelo de comportamiento operativo correcto del equipo.



Diseño de los indicadores de estado de equipo.



Cálculo de los límites de normalidad del Indicador cuando el equipo no presenta fallos.



Cálculo de los indicadores en fase de detección.

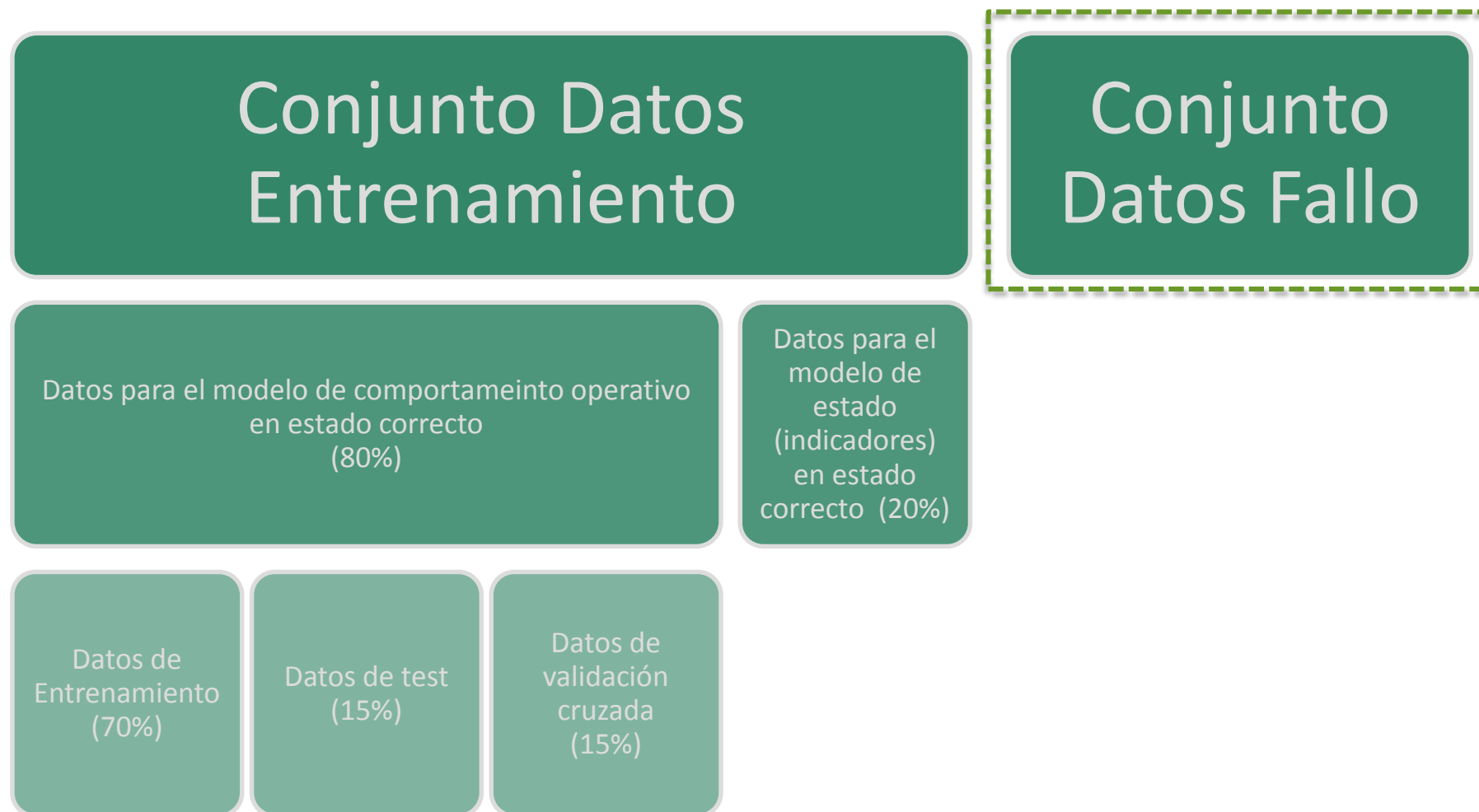


Índice

- Introducción al entorno
- Descripción general de la Metodología
- Pasos a seguir en el desarrollo
 - Estudio preliminar de las variables y comportamiento del equipo
 - Tratamiento y limpieza de datos
 - Clasificación del dato y generación de variables adicionales
 - Regiones de operación
 - Estado del aerogenerador
 - Modelos de Comportamiento de la temperatura
 - Modelos Simples
 - Modelos Compuestos (Sistemas Expertos)
 - Modelo Cooperativos (proporcionales o selectivos)
 - Modelo Competitivo
 - Definición de Indicadores de Estado
- **Demostración de la funcionalidad**
- Futuros trabajos

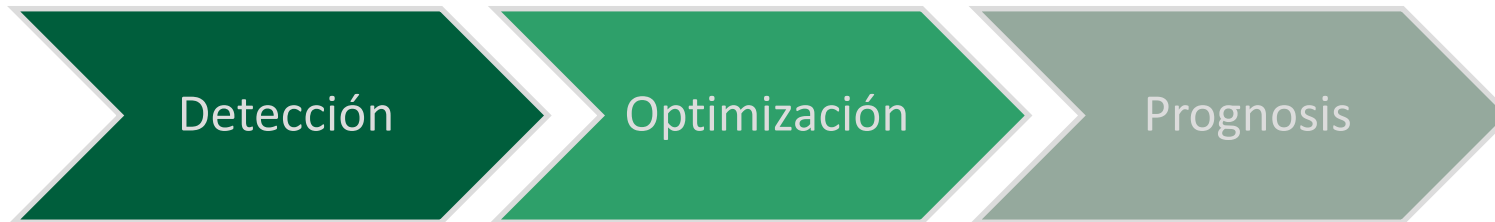
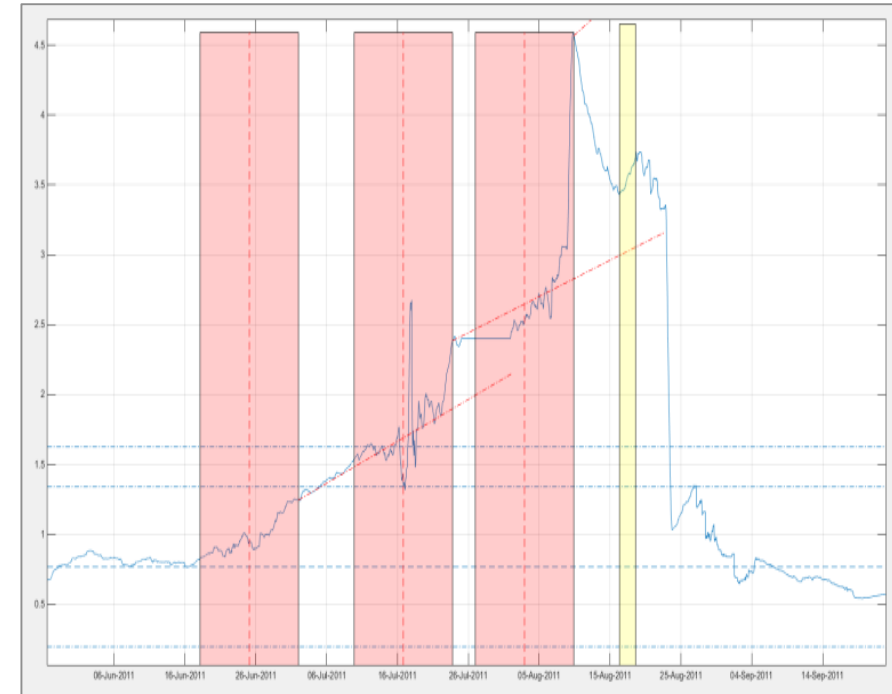
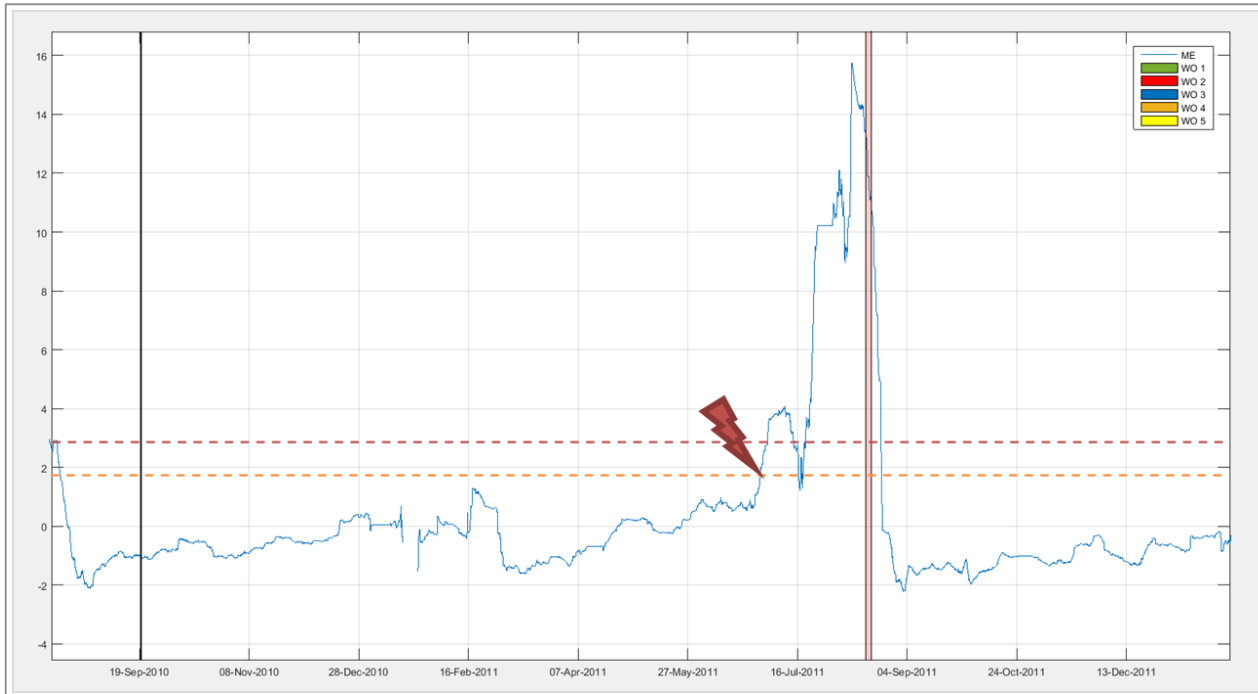


Aplicación Metodología: Datos para el ajuste de Indicadores



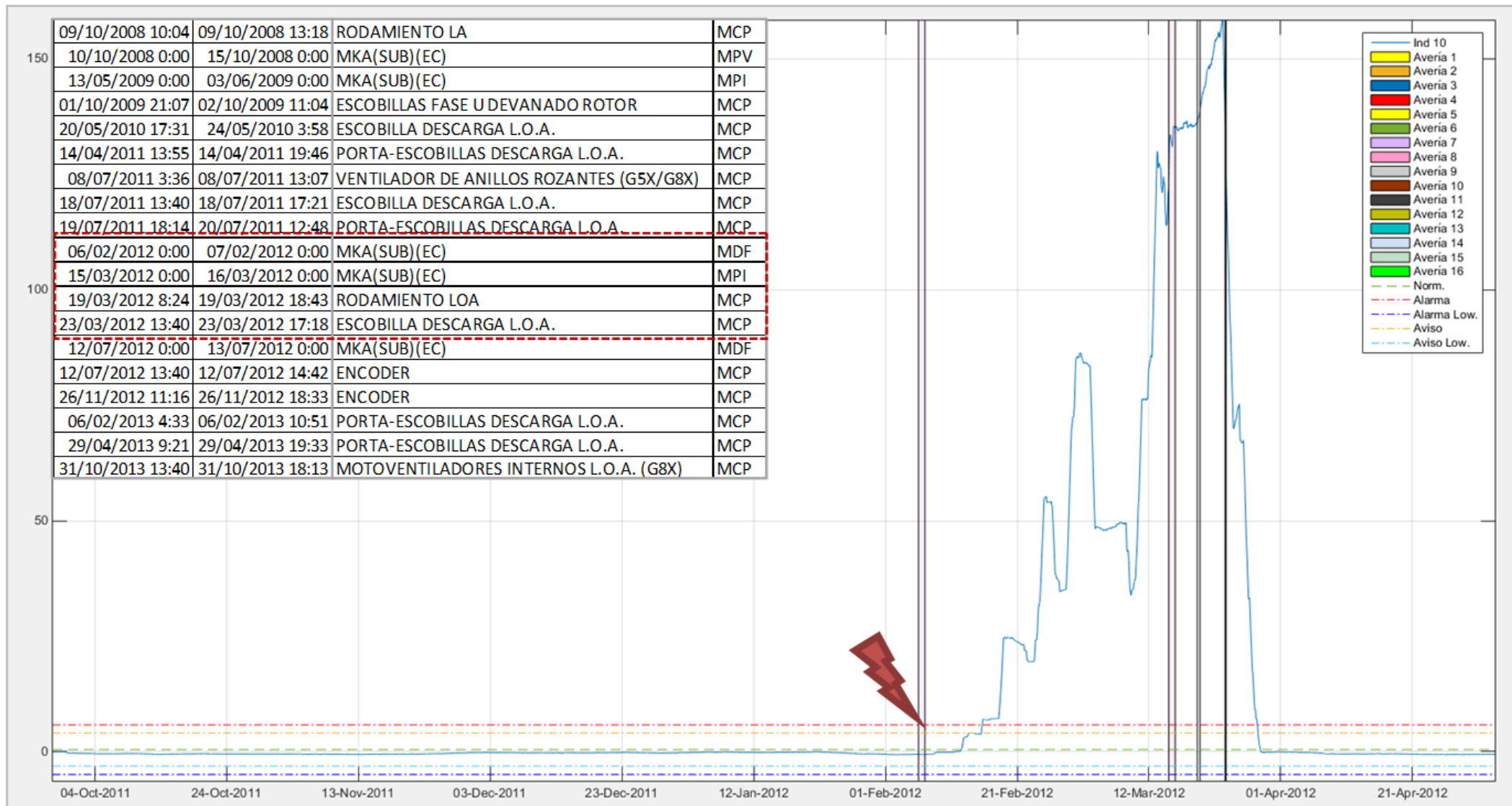


Demostración de la Funcionalidad: Capacidad de detección





Demostración de la Funcionalidad: Capacidad de detección y evaluación





Índice

- Introducción al entorno
- Descripción general de la Metodología
- Pasos a seguir en el desarrollo
 - Estudio preliminar de las variables y comportamiento del equipo
 - Tratamiento y limpieza de datos
 - Clasificación del dato y generación de variables adicionales
 - Regiones de operación
 - Estado del aerogenerador
 - Modelos de Comportamiento de la temperatura
 - Modelos Simples
 - Modelos Compuestos (Sistemas Expertos)
 - Modelo Cooperativos (proporcionales o selectivos)
 - Modelo Competitivo
 - Definición de Indicadores de Estado
- Demostración de la funcionalidad
- **Futuros trabajos**



Trabajos Futuros

- Mejora de los modelos y Diseño de nuevos indicadores combinados digitales y combinar con Analógicos.
- Extensión de la metodología desarrollada al resto de señales analógicas del aerogenerador.
- Desarrollo de un sistema inteligente de análisis de diagnóstico.
- Desarrollo de modelos de prognosis.
- A partir de los modelos de comportamiento de las diferentes variables operativas del aerogenerador, se puede realizar la simulación de su comportamiento y simulación de las averías.
- Definición de variables representativas para la detección de mal funcionamiento.
- “Operación Basada en la Condición” (OBC).
- Optimizador dinámico de planes de mantenimiento.



SISTEMA SIMPLIFICADO DE DETECCIÓN DE MAL FUNCIONAMIENTOS EN AEROGENERADORES PARA UN ENTORNO PRODUCTIVO REAL

**(a) Miguel Ángel Rodríguez López, (b) Luis María López
González, (a) Nuria López Triguero, (a) Ángel Marín
Guillén y (a) Antonio José Fernández Pérez**

Ingeniero Senior

(a) Iberdrola Ingeniería y Construcción SAU y (b) Universidad de La Rioja