

Advanced Mining Technology Center



Sexto Seminario de Acercamiento
Tecnológico
Calama, Chile
04 de Julio 2012

Mantenimiento Predictivo en Equipos Mineros

Dr. Marcos Orchard
Investigador Asociado

Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas



1. Definiciones y conceptos básicos

- **Anomalía / Falla / Evento Crítico (Anomaly / Fault / Failure)**
- **Mantenimiento Correctivo / Preventivo / Predictivo**

2. Mantenimiento Predictivo, “Fault Diagnosis” y “Failure Prognosis”

3. Pronóstico de Eventos Críticos

- **Modelos para la Supervisión**
- **Enfoque Predictivo Bayesiano**
- **“Zonas de Riesgo” y “Ventanas de Predicción”**
- **Caracterización de fuentes de incertidumbre**
- **Pronóstico basado en modelos**
- **Casos de estudio**

4. Conclusiones

- **Anomalía:**

- Son patrones en los datos medidos en un proceso que no se ajustan a un concepto bien definido de comportamiento normal.

- **Falla (fault):**

- Desviación no permitida, con respecto a lo aceptable, usual o condición nominal, de a los menos una propiedad característica o parámetro de un sistema.

- **Evento Crítico (failure):**

- Interrupción permanente de la capacidad de un sistema para realizar una función requerida, bajo condiciones de operación específicas.

- **Mantenimiento Correctivo:**

- Conjunto de acciones que apuntan a la solución de problemas en equipos, realizadas sólo una vez que la falla o condición es crítica y evidente.

- **Mantenimiento Preventivo:**

- Revisión periódica de los equipos y componentes, con reemplazo de los mismo en estimaciones estadísticas (y/o criterios del fabricante).
- Implica un aumento en la confiabilidad y disminución de fallas imprevistas

- **Mantenimiento Predictivo:**

- Supervisión periódica de variables físicas relevantes en cada equipo, con el fin de establecer el “estado de salud” del mismo.
- Evaluación continua de la confiabilidad y disponibilidad.
- “El mantenimiento es una inversión, no un gasto”

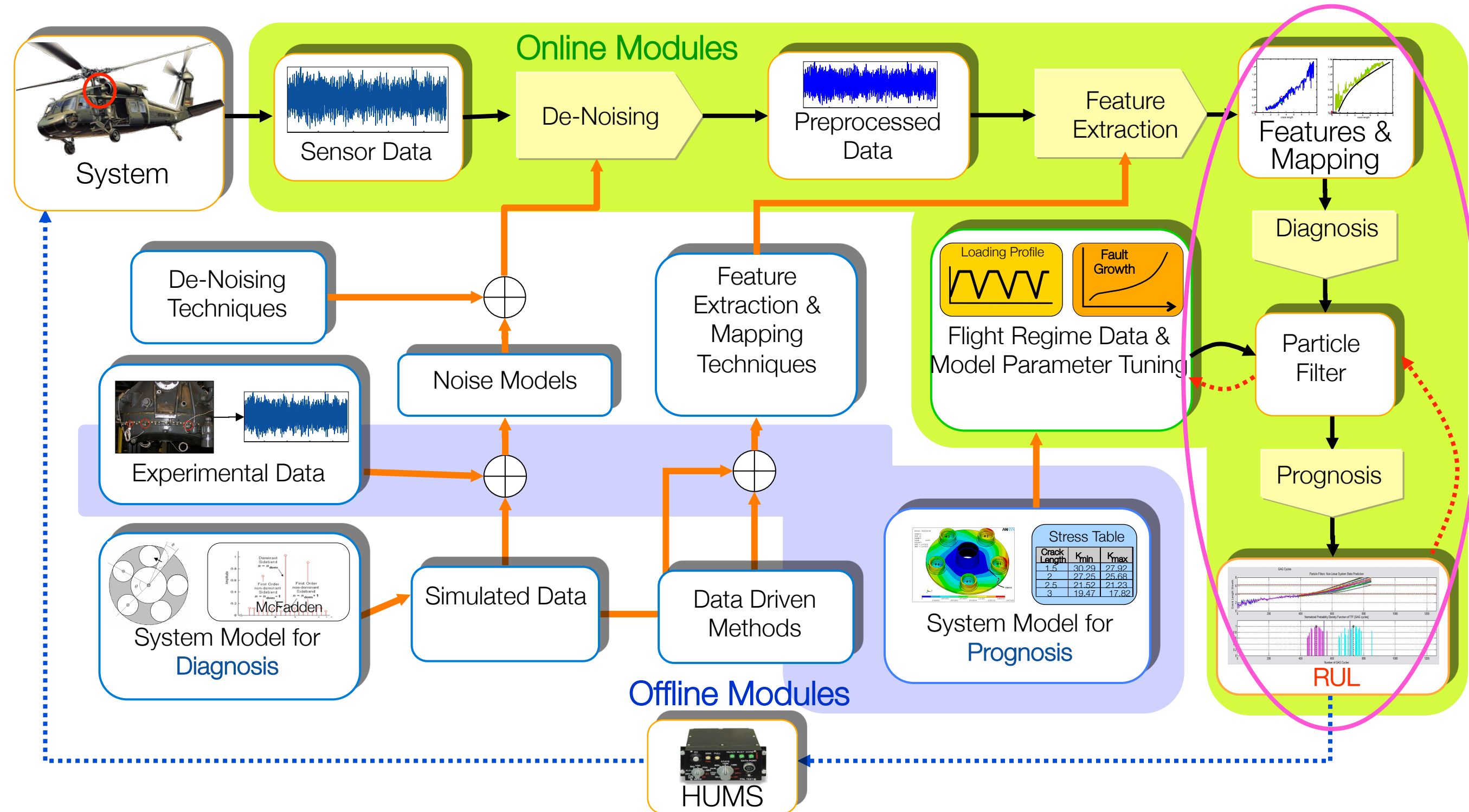


Mantenimiento Predictivo, “Diagnosis” y “Failure Prognosis”

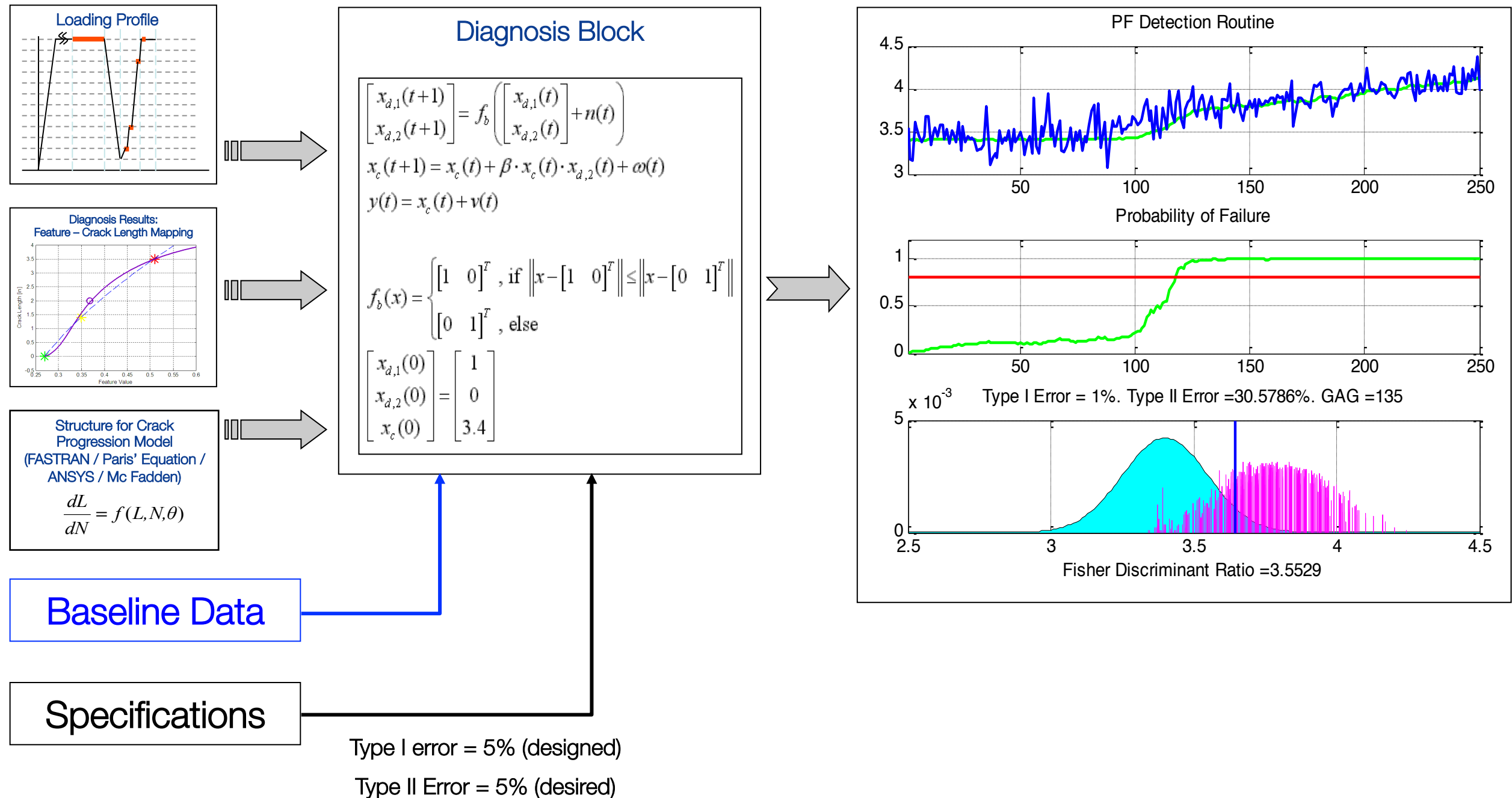


- Prognostics and Health Management (PHM)



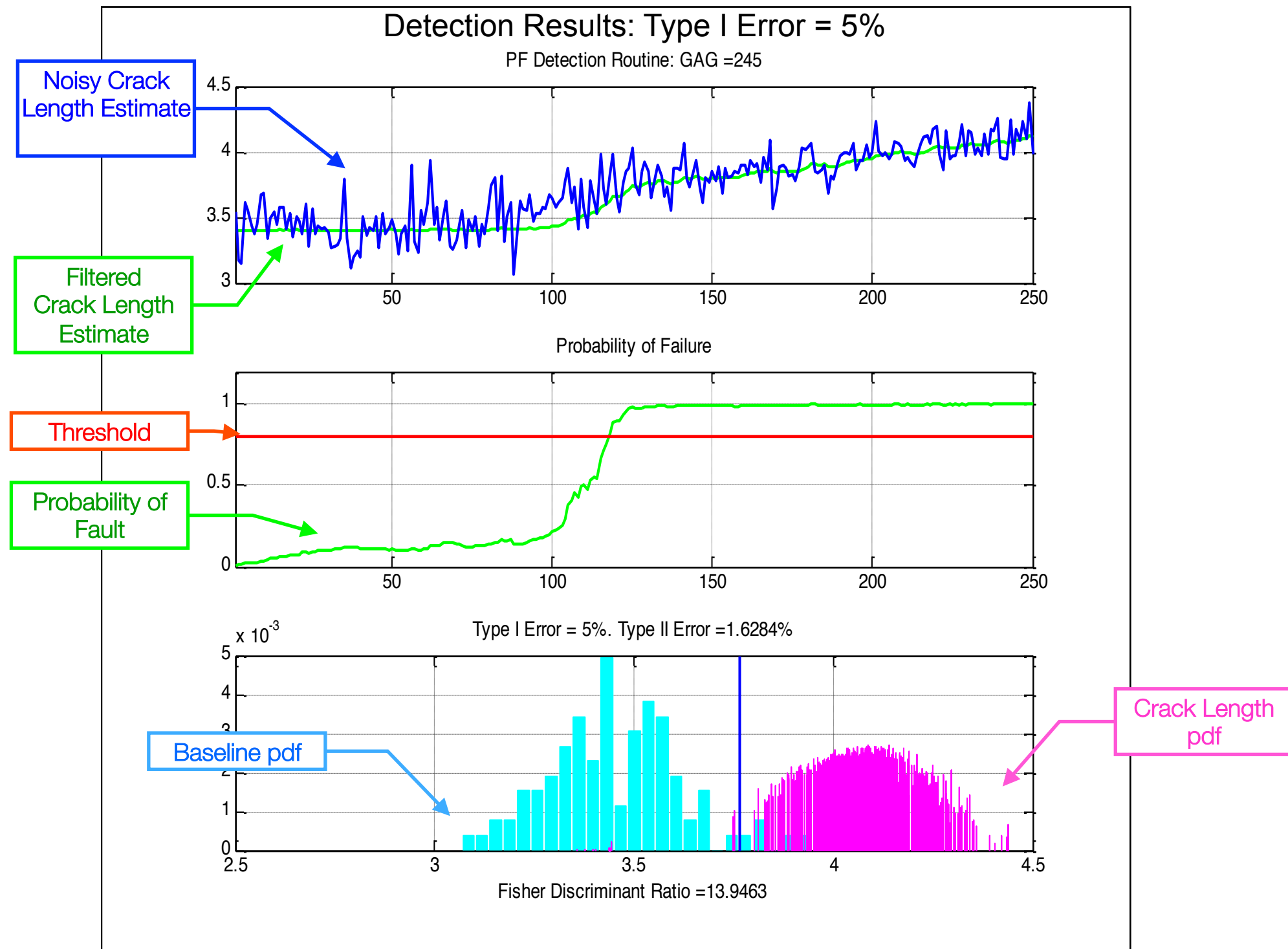


- Probabilidad de Detección / Falsas Alarmas



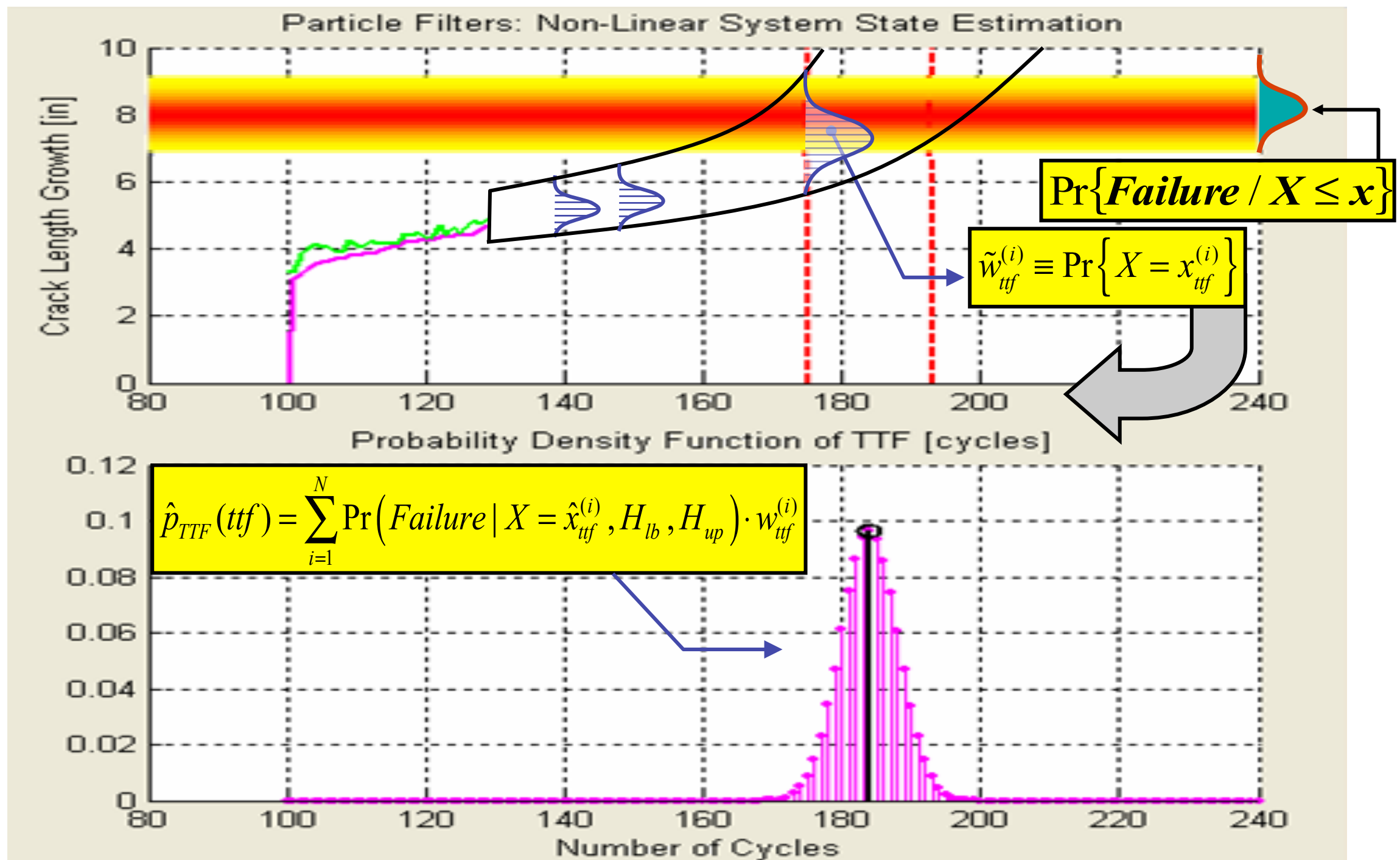


Mantenimiento Predictivo, “Diagnosis” y “Failure Prognosis”





- El concepto de “pronóstico” asume una tendencia



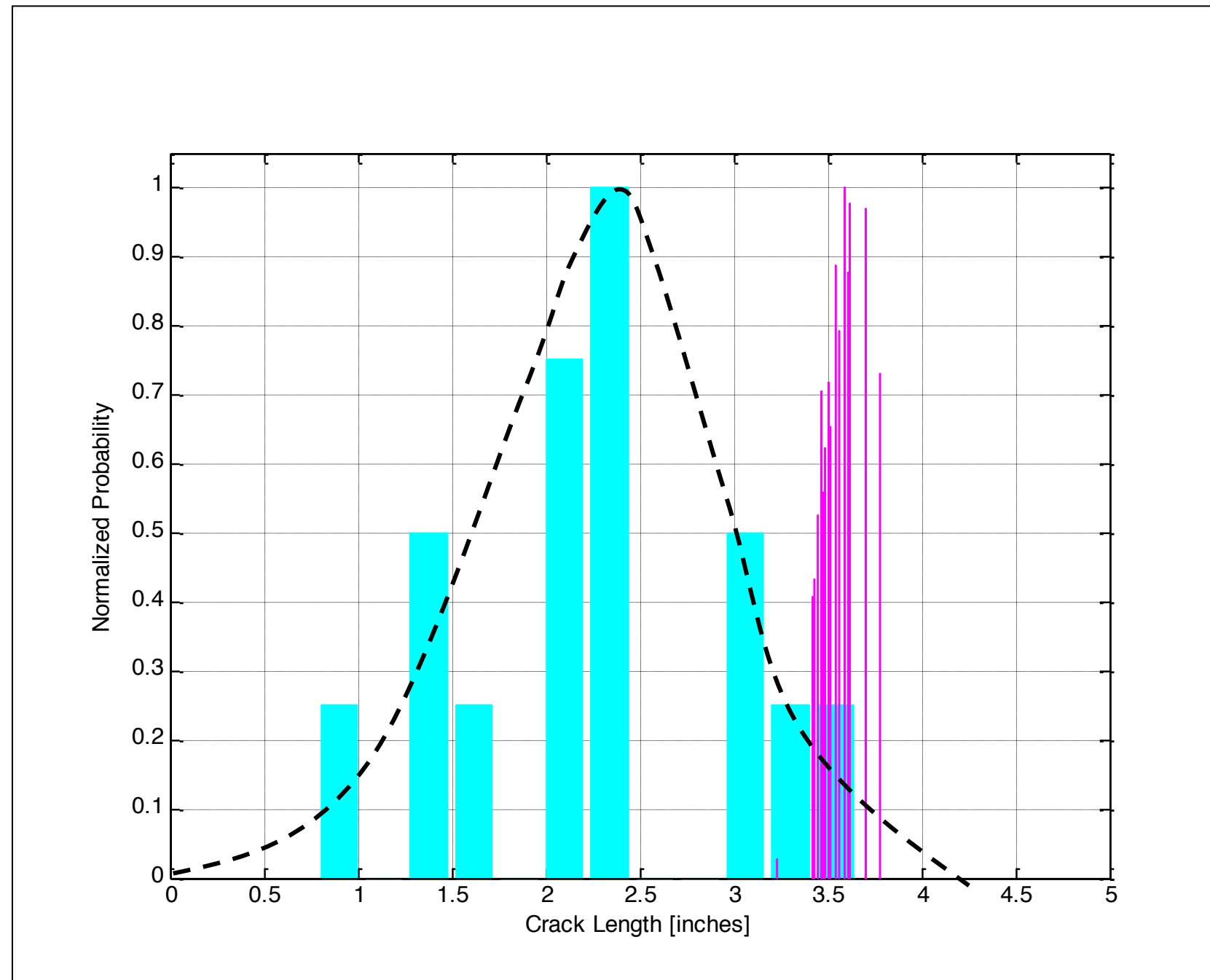


Mantenimiento Predictivo, “Diagnosis” y “Failure Prognosis”



- Mantenimiento Predictivo: Metodología
 - Análisis “fuera de línea” del sistema o equipo de interés
 - Identificación de variables/parámetros relevantes
 - **FMECA: Fault Modes, Effects and Criticality Analysis**
 - Adquisición y análisis de datos de operación
 - Funcionamiento normal del equipo, considerando distintos rangos y puntos de operación.
 - Operación anómala, bajo distintos modos de falla.
 - Generación de indicadores de condición (IC/KPI)
 - Caracterización del estado de salud en base a KPI
 - Estudio de degradación en base a KPI y generación de modelos predictivos
 - Diseño de sistema de alarma y toma de decisiones
 - Generación y seguimiento de órdenes de trabajo (OT)
 - Verificación de condición del equipo/sistema post-intervención

- Mantenimiento Preventivo vs. Mantenimiento Predictivo:

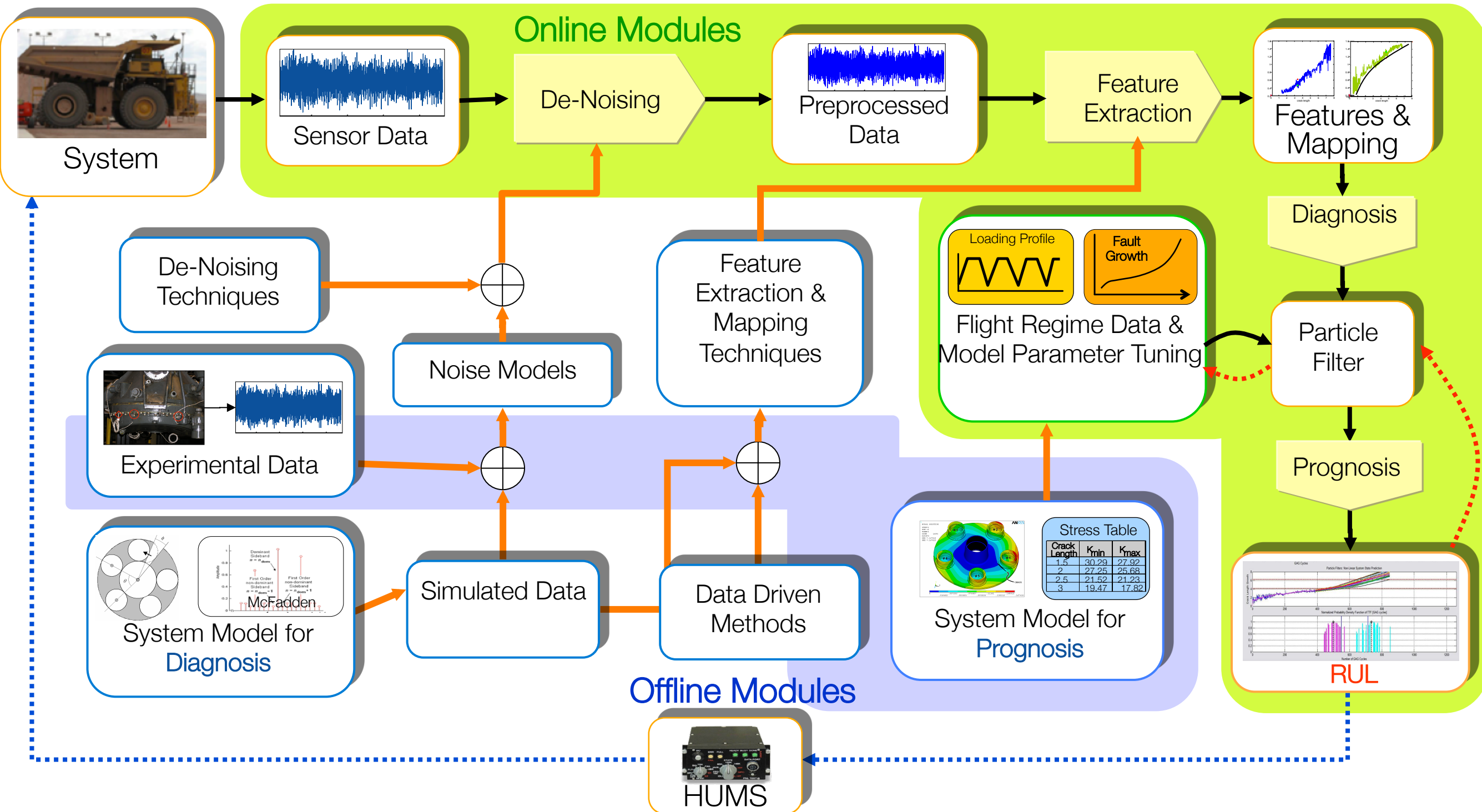




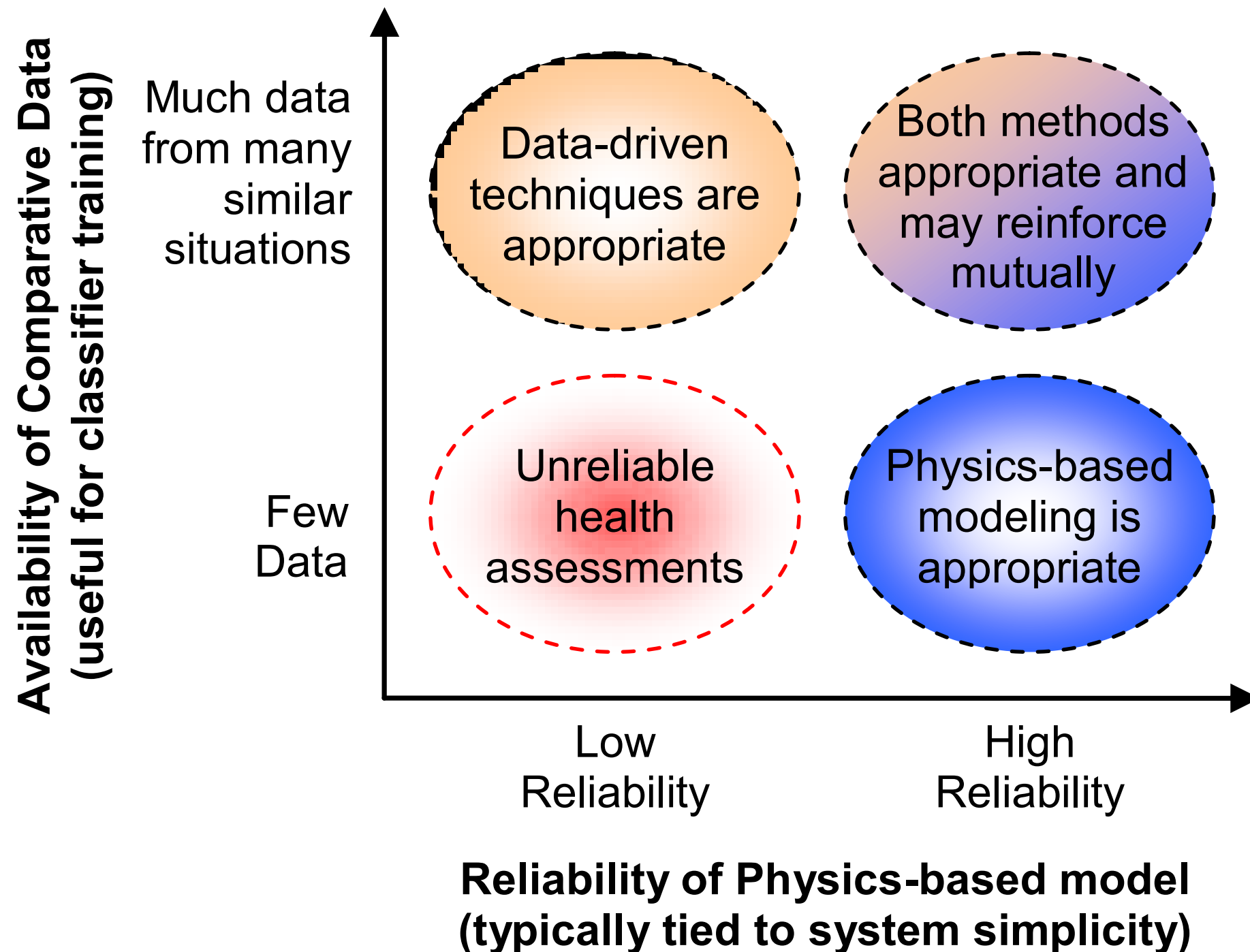
Mantenimiento Predictivo, “Diagnosis” y “Failure Prognosis”



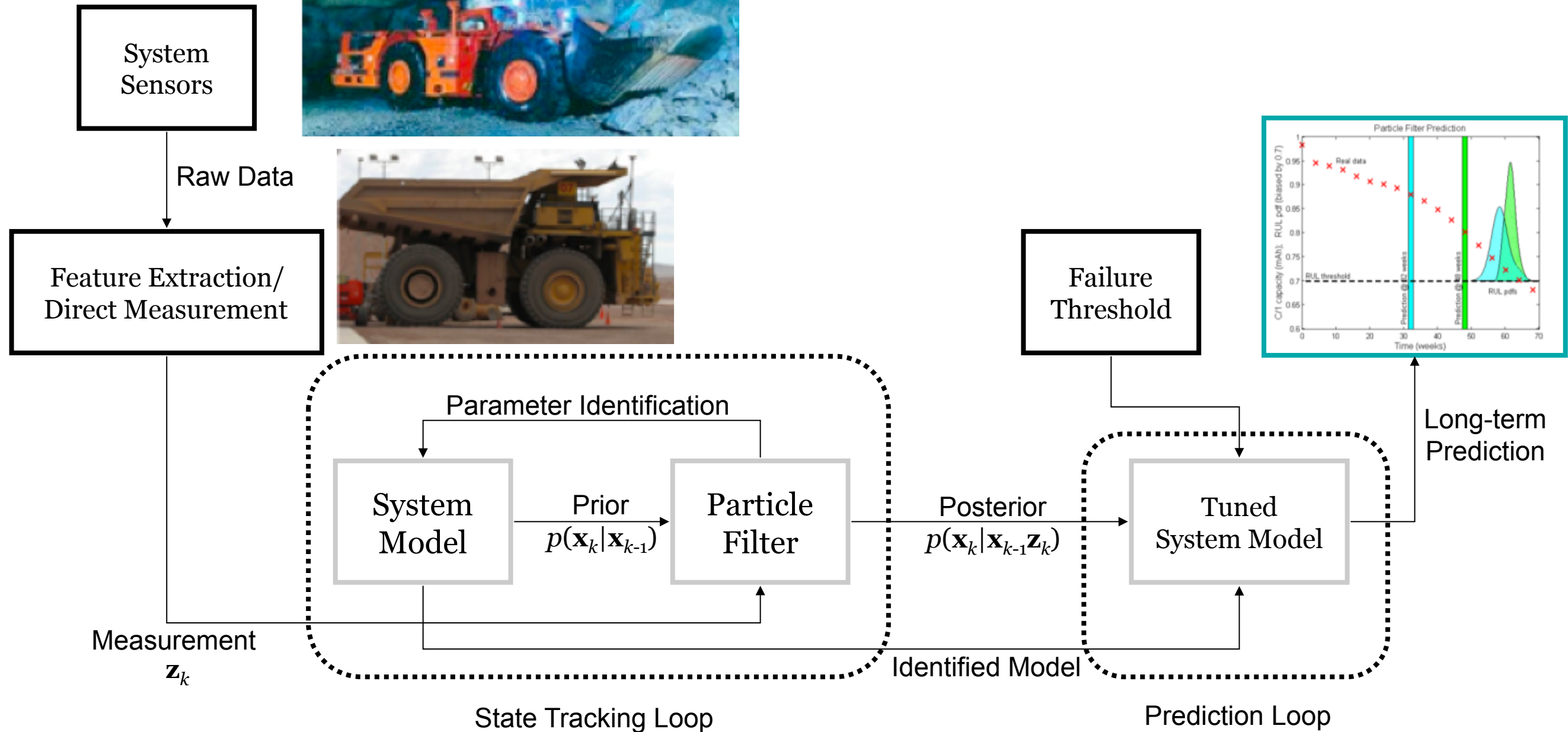
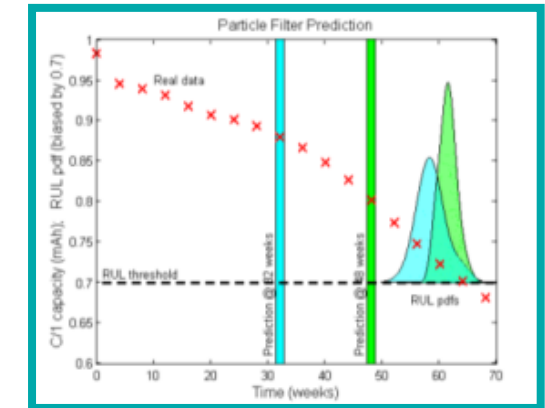
- Algunos de los métodos comúnmente utilizados para efecto de capturar información relevante de la operación de un sistema:
 - Caracterización estadística (data mining, statistical process control).
 - Análisis de Vibraciones (desalineamientos/desequilibrios; problemas en cojinetes/rodamientos, engranajes, correas transportadoras).
 - Análisis de Lubricantes (desgaste en maquinarias y componentes, desperfectos mecánicos varios).
 - Análisis por Ultrasonido (fricción en maquinas rotativas, fallas y/o fugas en válvulas, pérdidas de vacío, arco eléctricos).
 - Análisis por Termografía (Instalaciones en AT y BT; motores eléctricos, generadores; hornos, calderas e intercambiadores de calor).
 - Análisis Eléctrico (motores, alternadores, variadores de frecuencia).

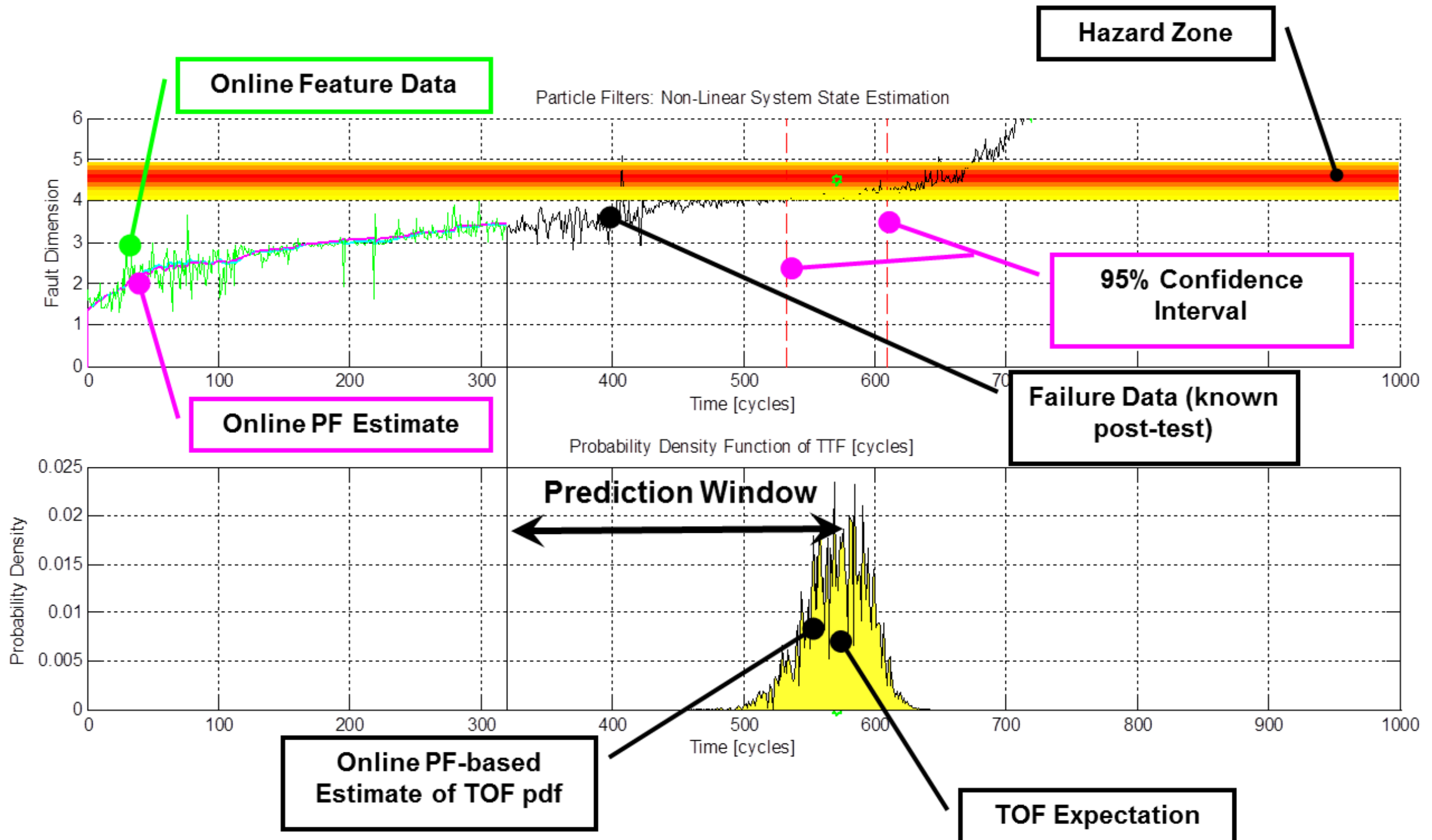


Pronóstico de Eventos Críticos: Modelos para la Supervisión

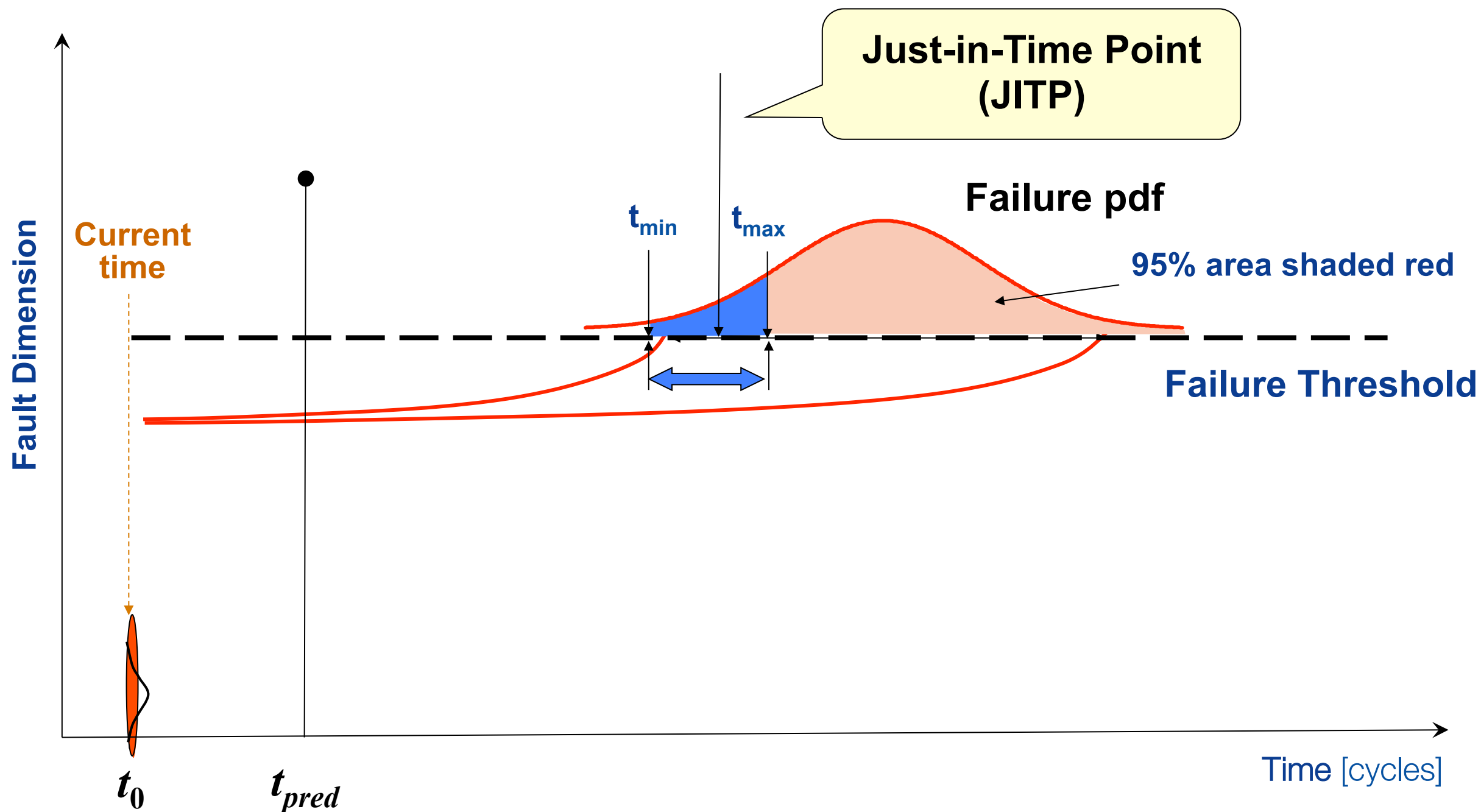


Source: Adapted from Inman et al. (2005), p.6





- Just-in-Time Point vs. Valor Esperado de Vida Útil**



- **Diversos elementos alteran significativamente la vida útil remanente (RUL) de sistemas y equipos.**
- **Considérese, por ejemplo, fuentes de incertidumbre asociadas a perfiles de uso, errores de modelo, ruidos de medición.**
- **Es decir, la incertidumbre en RUL (ΔRUL) queda:**

- **Nivel 1:**
$$\Delta RUL = \left\{ \left[\frac{\partial RUL}{\partial model} \Delta model \right]^2 + \left[\frac{\partial RUL}{\partial load} \Delta load \right]^2 + \left[\frac{\partial RUL}{\partial meas.} \Delta meas. \right]^2 \right\}^{1/2}$$

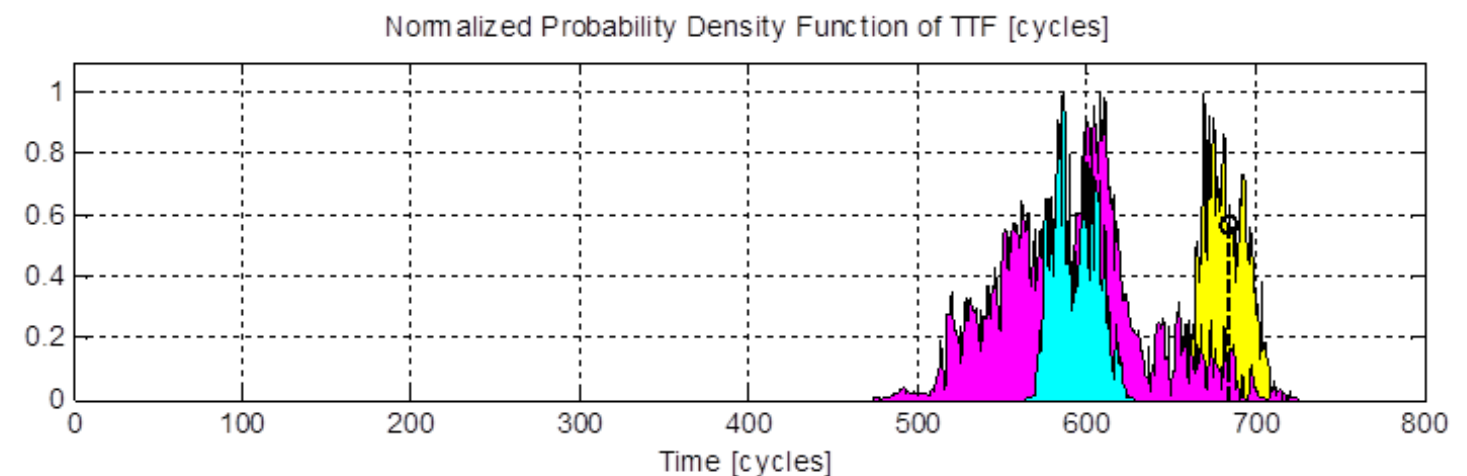
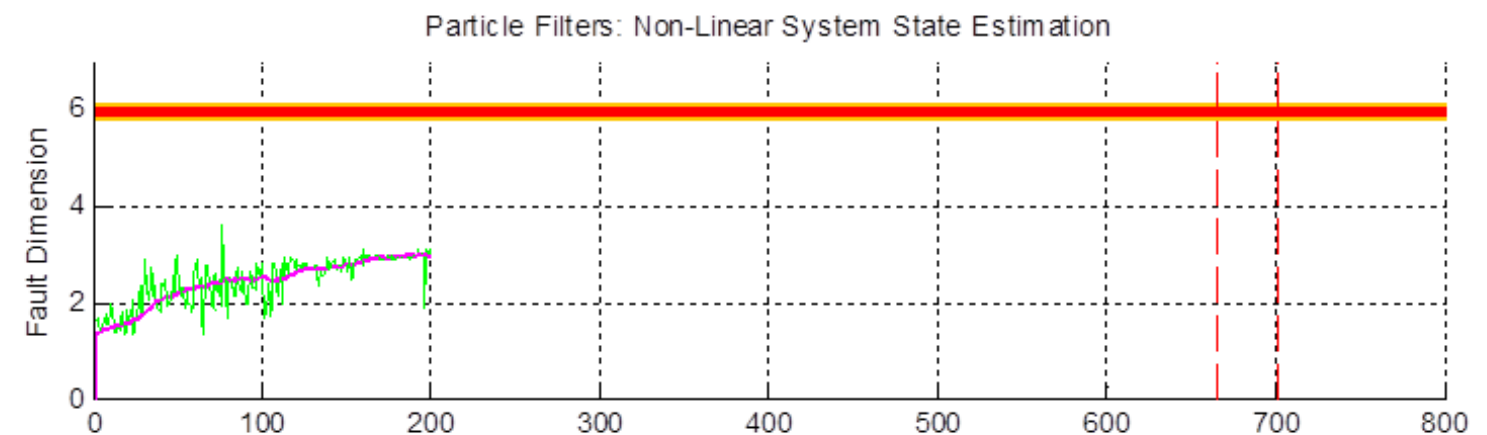
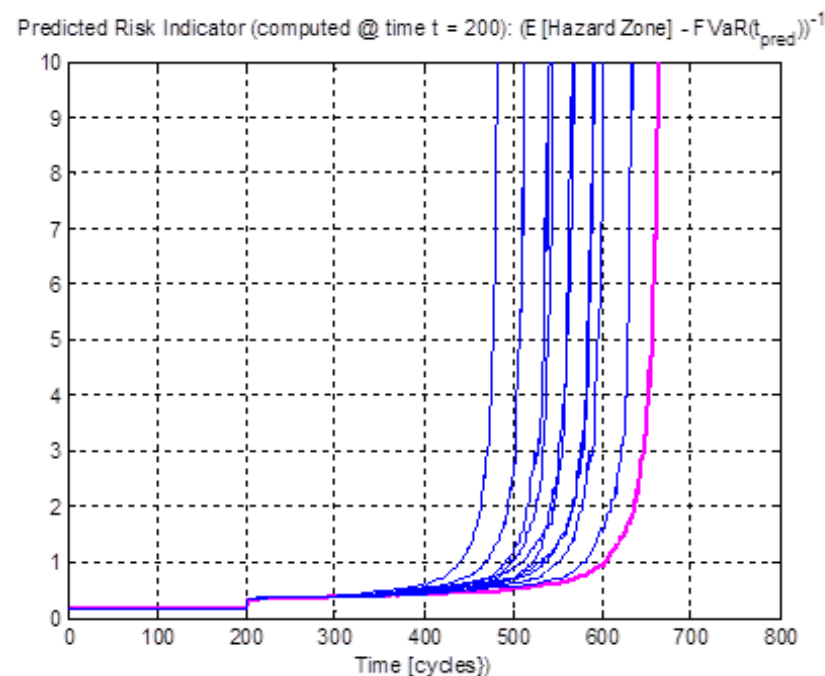
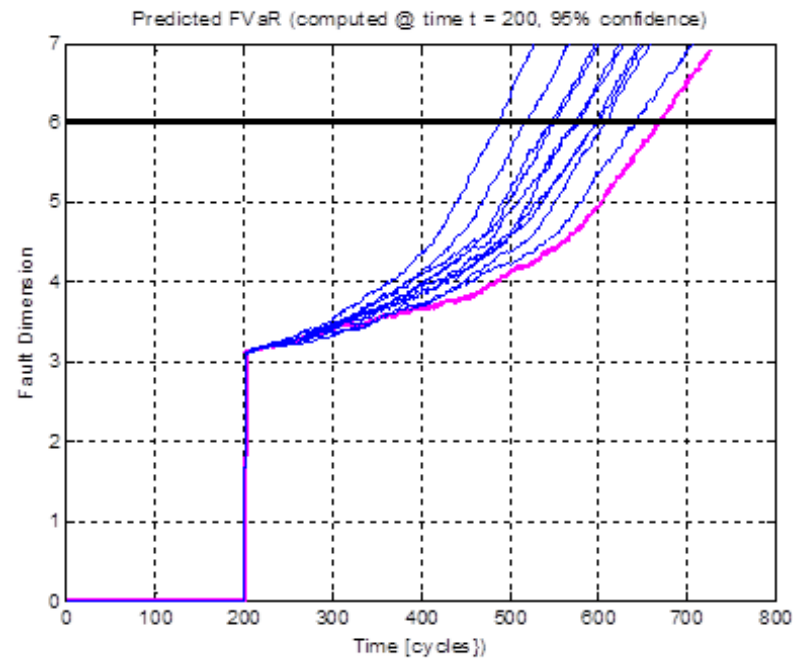
- **Nivel 2:**
$$\Delta load = \left\{ \left[\frac{\partial load}{\partial mission} \Delta mission \right]^2 + \left[\frac{\partial load}{\partial regime\ data} \Delta regime\ data \right]^2 + \left[\frac{\partial load}{\partial sensors} \Delta sensors \right]^2 \right\}^{1/2}$$

- **Nivel 3: Se puede extender el razonamiento en forma análoga.**

- Análisis de Riesgo:

$$FVaR(t, t_{prognosis}) \Leftrightarrow \alpha = 0.95 = \int_{-\infty}^{FVaR(t, t_{prognosis})} \hat{p}(x_t^1 | y_{t_{prognosis}}) dx_t^1$$

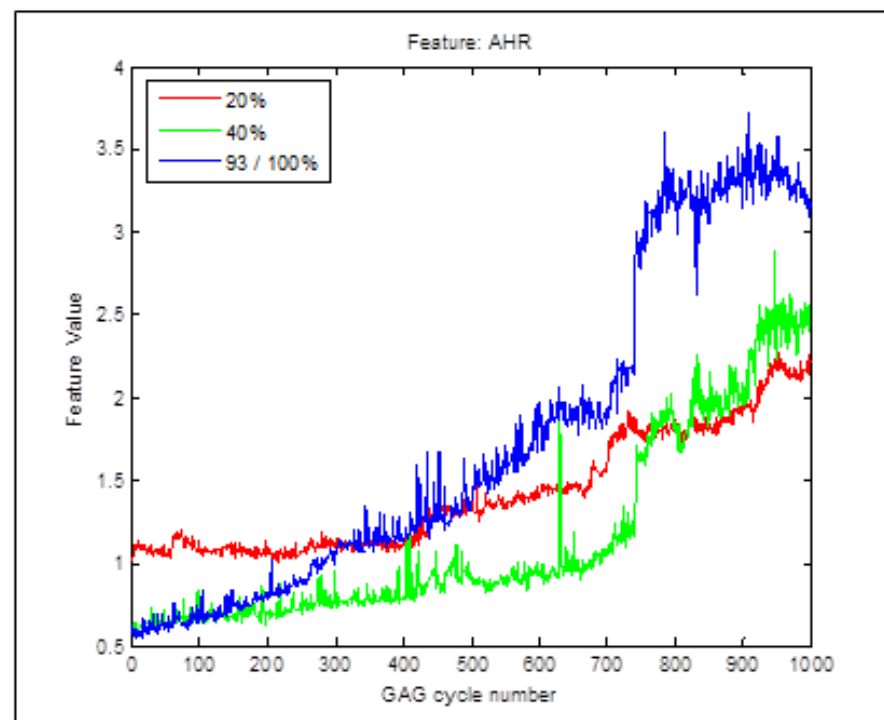
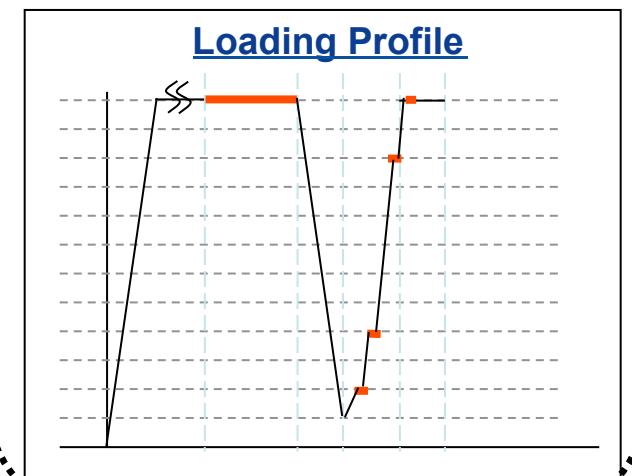
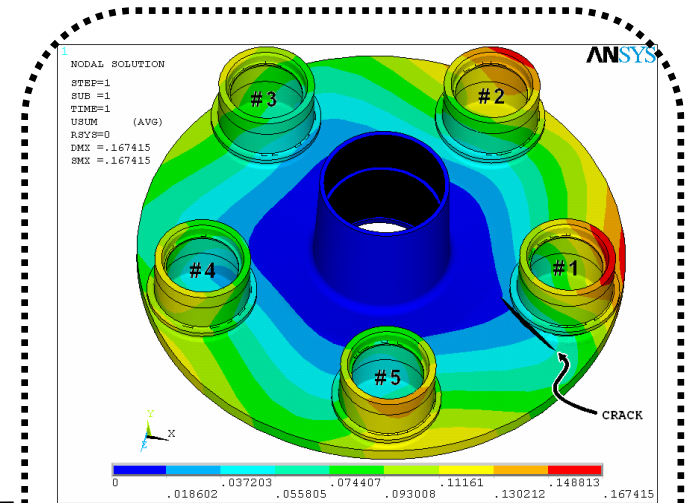
$$Risk_{FVaR}(t, t_{prognosis}) = (E\{Hazard\ Zone\} - FVaR(t, t_{prognosis}))^{-1}$$



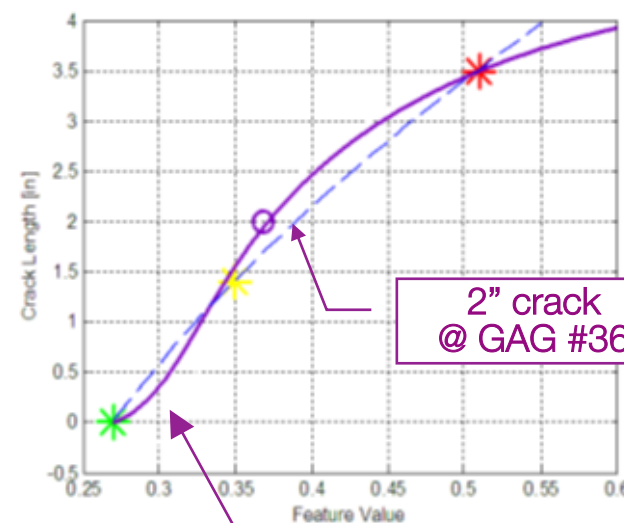


$$\begin{cases} L(t+1) = L(t) + C \cdot \alpha(t) \cdot \left\{ (\Delta K_{inboard}(t))^m + (\Delta K_{outboard}(t))^m \right\} + \omega_1(t) \\ \alpha(t+1) = \alpha(t) + \omega_2(t) \\ \Delta K_{inboard}(t) = f_{inboard}(\text{Load}(t), L(t)) \\ \Delta K_{outboard}(t) = f_{outboard}(\text{Load}(t), L(t)) \end{cases}$$

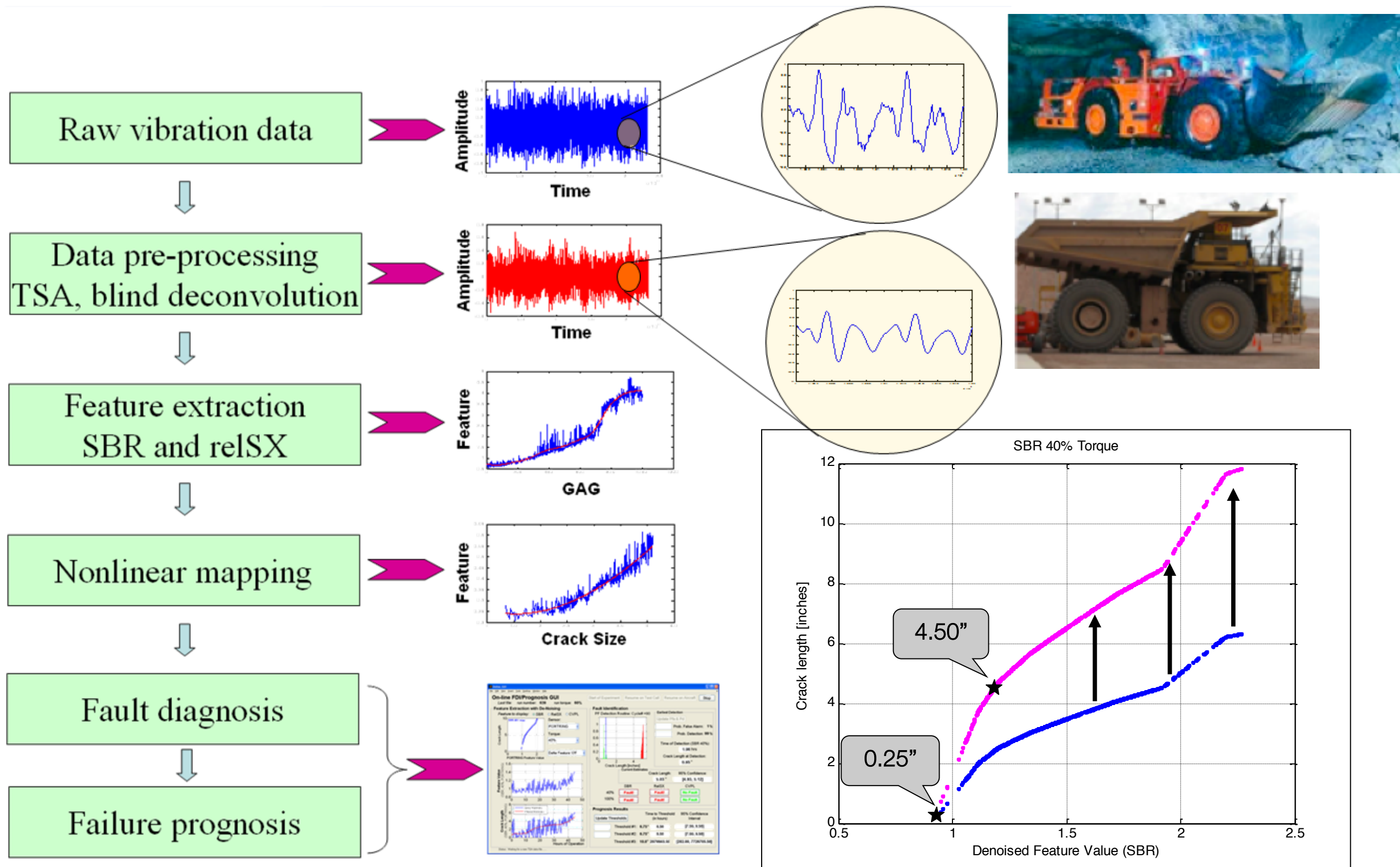
Feature(t) = h(L(t)) + v(t)

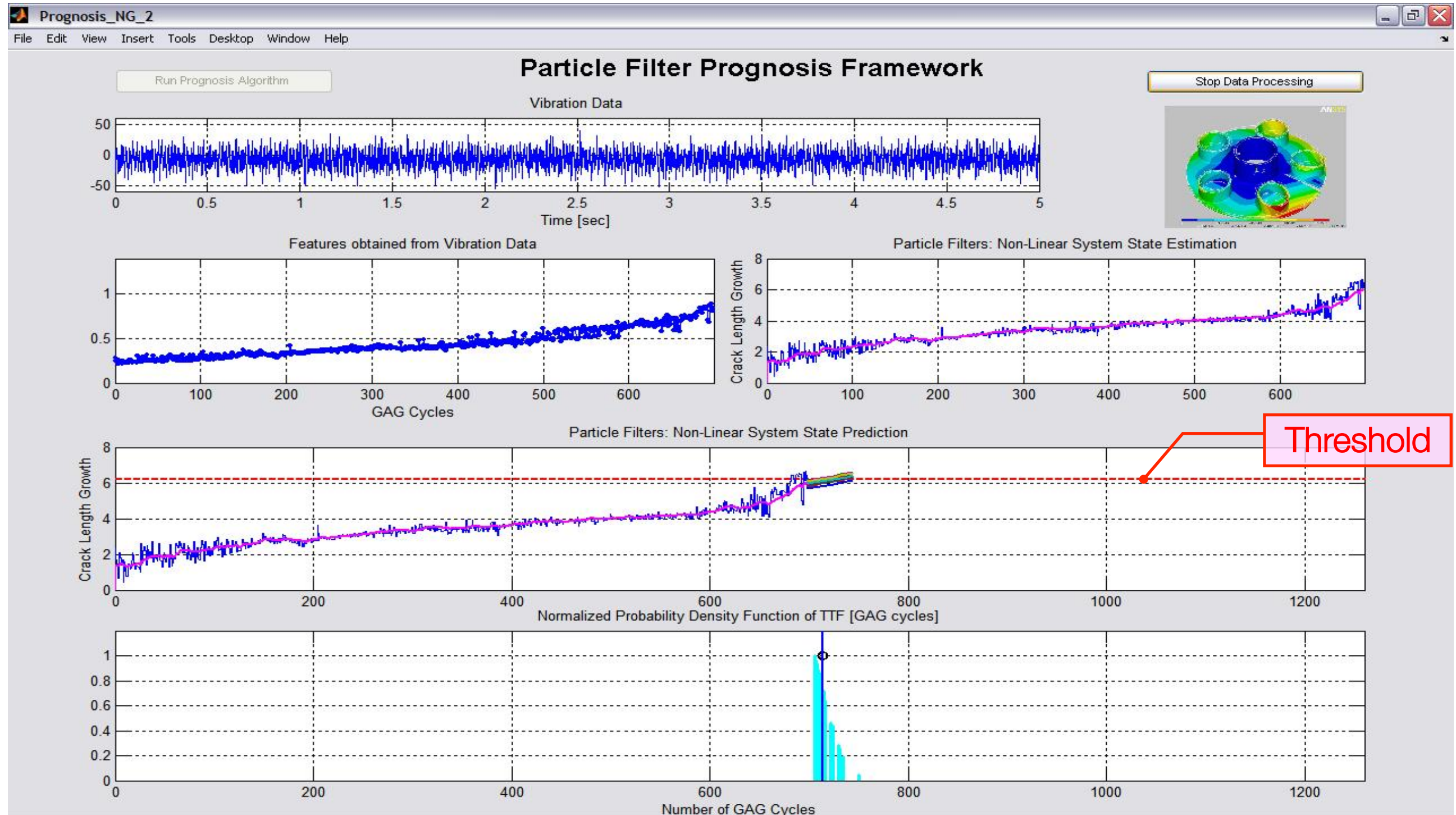


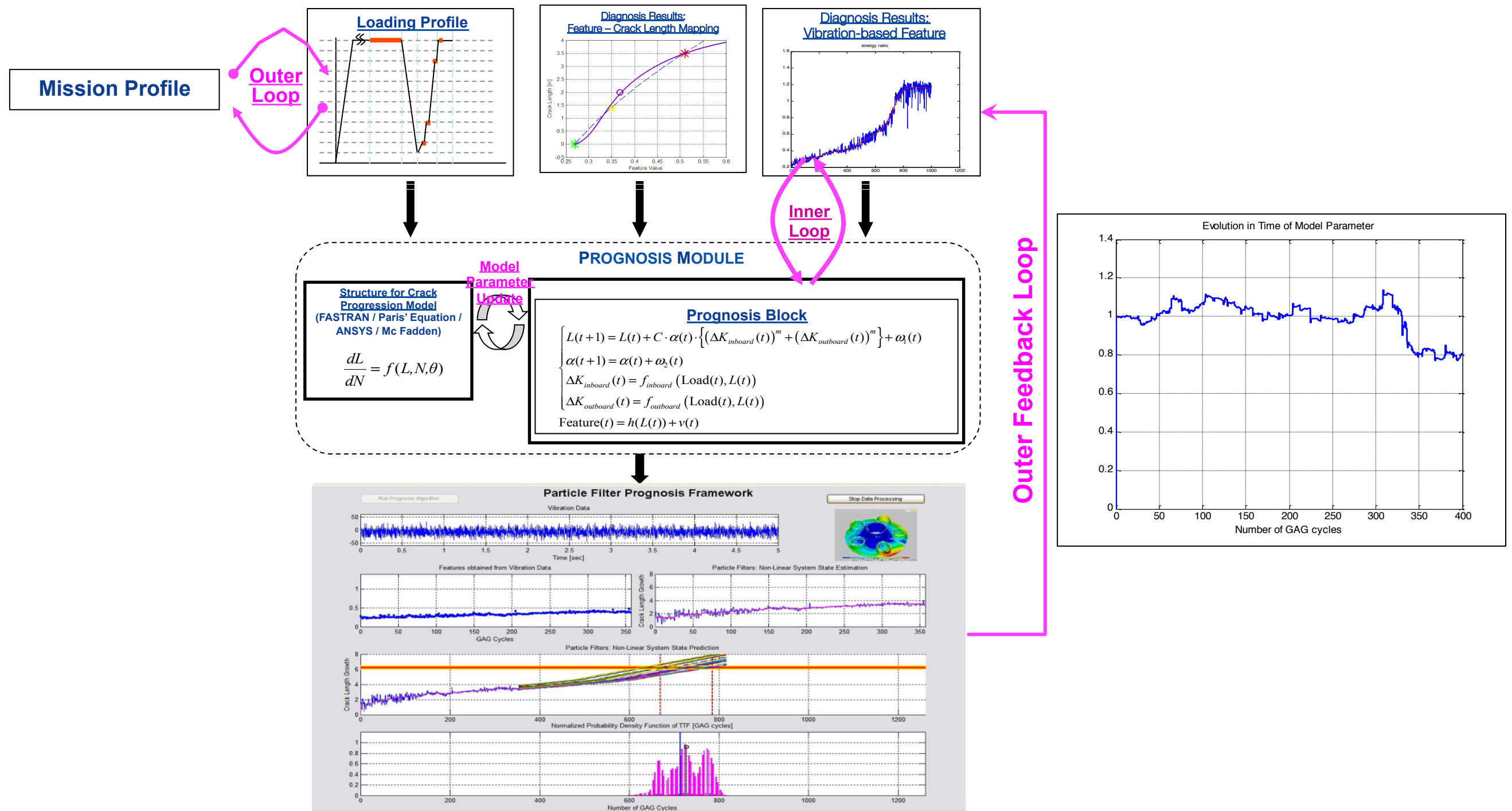
Pretest mapping of
Feature → Crack Length



Updated mapping of Feature →
Crack Length







1. Importancia de una correcta definición de alcances y objetivos de programa de Mantenimiento Predictivo
 - Estudio FMECA (Fault Modes, Effects and Criticality Analysis)
 - Adecuada instrumentación y sensorización de sistemas.
2. Generación de indicadores de condición: Ampla variedad de técnicas y herramientas.
3. El problema de pronóstico de eventos críticos: definición de horizonte de predicción, zonas de riesgo, JITP vs. valor esperado.
4. Adecuada caracterización de fuentes de incertidumbre: modelos de procesos, perfiles de utilización, sensores.

¿Preguntas?
¡Muchas Gracias!