

CMC MÉXICO 2026



Sesión
SPARK

1



SPARK SESIÓN 33



CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
M É X I C O

19^a
EDICIÓN



Cómo Elegir la Estrategia Correcta de Mantenimiento para Componentes de Desgaste

Edwin González

Business Development Manager, Asset Management Solutions
John Crane México

2

El Problema: Dos Extremos Costosos

Correr Hasta Fallar (CTF)

Operar el componente hasta que falla y reemplazarlo de emergencia. Maximiza el uso individual, pero genera paros no programados, daños secundarios y costos urgentes.

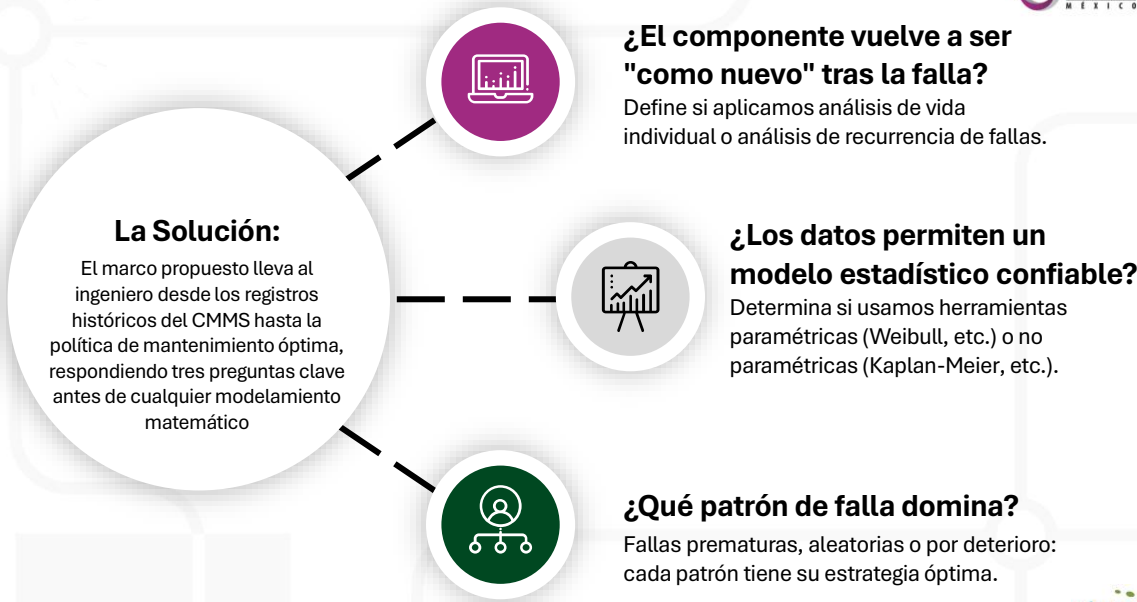
Mantenimiento Preventivo con Intervalo Fijo

Reemplazar según calendario predeterminado, sin considerar el comportamiento real de falla. Puede resultar en sobre-mantenimiento (descartar vida útil) o sub-mantenimiento (mantener más allá de la vida económica).

⚠ Ambas estrategias comparten un defecto: ninguna usa los datos de falla disponibles en el CMMS para derivar el intervalo de intervención con base probabilística.



3



4

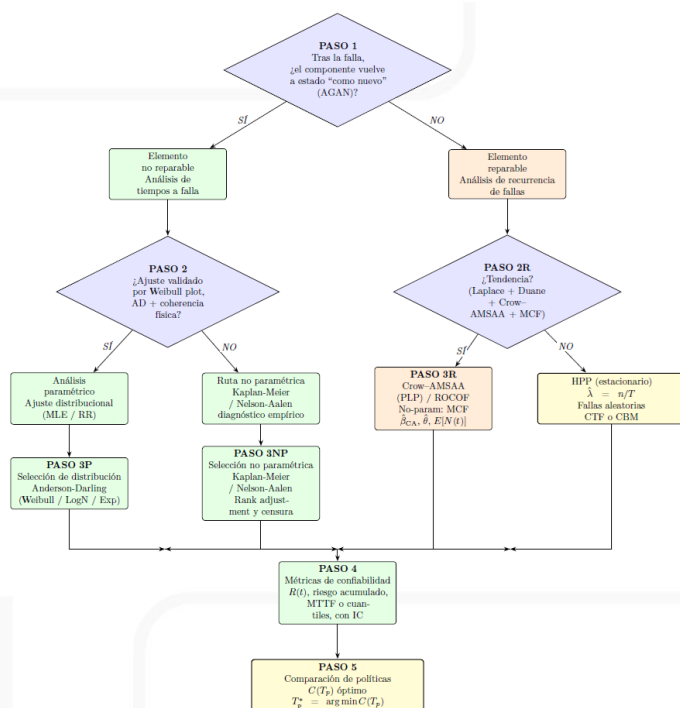
El Árbol de Decisión: Guía Visual del Marco



5

Este diagrama es el **corazón del método**.

- Sigue el flujo de izquierda a derecha respondiendo cada pregunta con los datos disponibles en tu CMMS.
- No requiere ser experto estadístico — requiere **conocer bien tu componente** y tu historial de fallas.



6

Paso 1: ¿Reparable o No Reparable?

Esta es la bifurcación más importante — y la más ignorada en la práctica. La pregunta clave es simple:

¿Cuando el componente falla y lo intervenimos, queda estadísticamente igual que uno nuevo?

✓ No Reparable (AGAN)

El sello, rodamiento o impulsor se reemplaza por una unidad nueva. Cada tiempo de vida es independiente. Se analiza con distribuciones de vida (Weibull, Exponencial, Log-normal, etc.).

Ejemplo: Overhaul a una bomba centrífuga .

⚠ Reparable (AGAO)

La reparación no restaura el componente a condición nueva. El equipo retiene historia de daño acumulado. Se analiza la recurrencia de fallas (MCF, Crow-AMSAA).

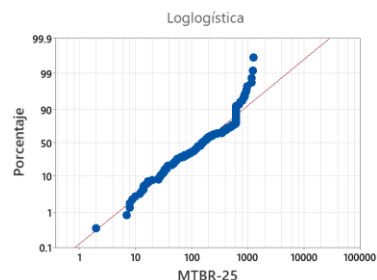
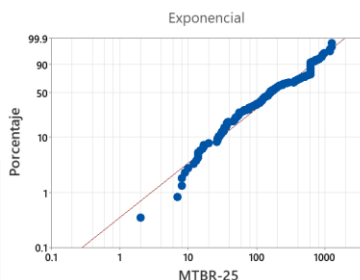
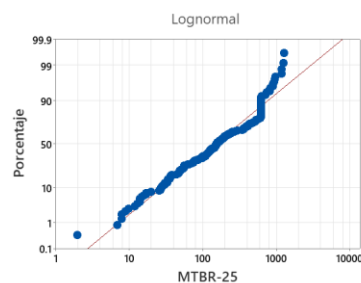
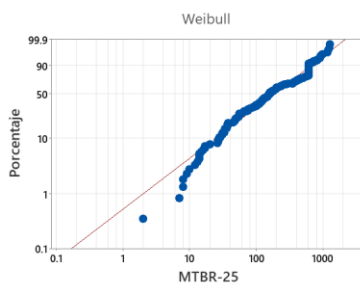
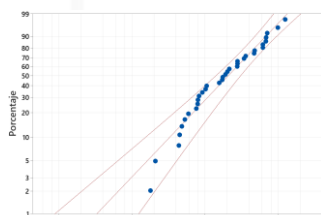
Ejemplo: Solo se reemplaza la cara deslizante, no el conjunto completo.

7

Pasos 2: Validar el ajuste de los datos

Bondad de ajuste

Distribución	Anderson-Darling (ajust.)
Weibull	0.804
Lognormal	0.687
Exponencial	0.782
Loglogística	0.706
Weibull de 3 parámetros	0.683
Lognormal de 3 parámetros	0.674
Exponencial de 2 parámetros	0.781
Loglogística de 3 parámetros	0.631
Valor extremo más pequeño	3.301
Normal	2.441
Logística	2.286



8

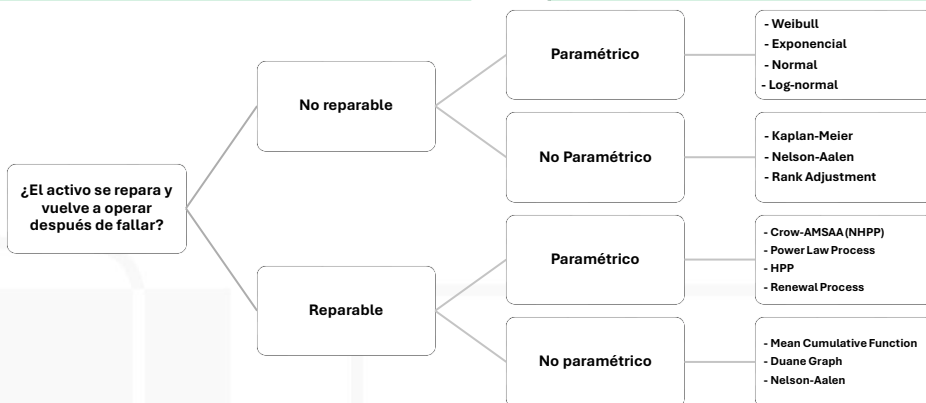
Paso 3: Elegir el Modelo Estadístico Correcto

Ruta Paramétrica (Weibull, Log-normal, Exponencial)

Se usa cuando los datos son suficientes y el ajuste es coherente con el mecanismo físico de falla. Se valida visualmente con el Weibull Plot y con el estadístico Anderson-Darling.

Ruta No Paramétrica (Kaplan-Meier, Nelson-Aalen)

Se usa cuando la muestra es pequeña o la censura es importante. No impone una forma distribucional — describe lo que los datos muestran sin extrapolaciones arriesgadas.



Paso 4: Determinar los patrones de falla

El parámetro de forma β (beta) de la distribución Weibull es el puente entre la estadística y la decisión operativa. El β te dice si tu componente muere joven, muere al azar, o envejece.

$\beta < 1$ — Fallas Prematuras

El componente falla más en sus primeras horas. Señal de errores de instalación, diseño, operación incorrecta, condiciones fuera de diseño, Mantenimiento inadecuado, selección inadecuada, cambios en la filosofía operacional.

Acción: Análisis de Causa Raíz (RCA), Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), etc. El PM fijo no ayuda — cada intervención reinicia la mortalidad infantil.

$\beta \approx 1$ — Fallas Aleatorias

La falla no depende de la edad del componente. Ocurre por perturbaciones del proceso, eventos externos o variabilidad operativa. Fallas constantes (aleatorias).

Acción: Mantenimiento Basado en Condición (CBM), correctivo controlado, etc. El PM fijo NO agrega valor aquí.

$\beta > 1$ — Deterioro Progresivo

El riesgo de falla crece con el tiempo. Desgaste, envejecimiento, degradación progresiva, fatiga, deterioro, erosión, consumo de vida útil, etc.

Acción: PM óptimo con intervalo calculado por Weibull. Aquí sí tiene sentido el reemplazo preventivo programado.

Paso 5: Comparar Políticas y Elegir la Óptima



El último paso compara las cuatro políticas posibles usando el costo esperado por unidad de tiempo. El objetivo es encontrar el intervalo T^* que minimiza ese costo.



CTF — Correr Hasta Fallar

Óptimo solo cuando $\beta \leq 1$. El costo de prevenir supera el beneficio.



CBM — Por Condición

Intervenir cuando una señal supera un umbral. Ideal para $\beta \approx 1$ con señal precursora detectable.



PM Fijo

Reemplazo por calendario. Puede ser sub-óptimo si el intervalo no corresponde al comportamiento real de falla.



PM Óptimo (T^*)

Intervalo calculado que minimiza el costo total. Solo válido y efectivo cuando $\beta > 1$ y $C_{falla} > C_{prevención}$.

❑ Un dato clave: si $\beta < 1$ y aplicas PM fijo, puedes gastar hasta un 40% más que con CTF — no por descuido, sino porque el problema es de causa raíz, no de desgaste.



Caso: Sellos Mecánicos en Bombas de Proceso



El marco se validó con datos reales de una flota de bombas durante tres periodos consecutivos. En total se registraron **578 eventos de falla**.

578

Eventos totales

Registrados en 2024, 2025 y 2026

343

Fallas en 2024

Punto de partida — régimen de mortalidad infantil

201

Fallas en 2025

Primera evidencia de mejora tras acciones de RCA

34

Fallas en 2026

Consolidación del régimen estable con PdM

La caída sostenida en el conteo de eventos es la primera evidencia de mejora. Las secciones siguientes formalizan esa observación con análisis probabilístico bajo dos lentes complementarias: vida del componente (no reparable) y tendencia del sistema (reparable).



Evolución del Parámetro β : La Flota Mejora



Curvas de Supervivencia por Periodo



Resumen de Parámetros Weibull

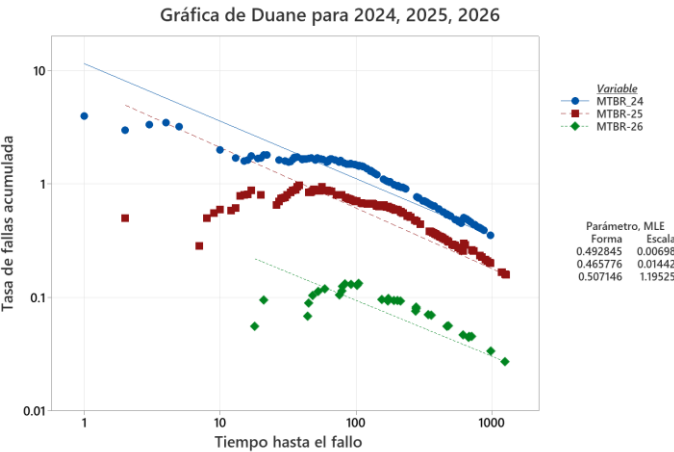
Periodo	$\beta^{\wedge}$	t (R=80%)	Mejora
2024	0.87	45 días	—
2025	0.92	55 días	+22%
2026	1.02	70 días	+56%

El parámetro β migró de **mortalidad infantil (0.87)** hacia un **régimen estable (1.02)**. La vida característica η creció ~20% entre 2024 y 2026. Esto no ocurrió solo — fue el resultado de acciones deliberadas y secuenciadas.



13

La Doble Lente: Reparable vs. No Reparable

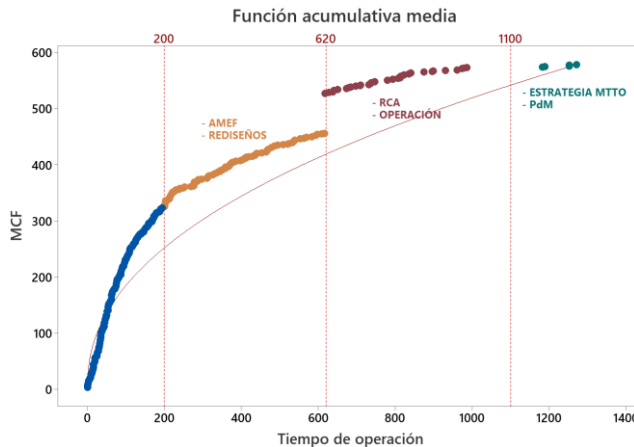


La **Función de Media Acumulada (MCF)** muestra que la curva de 2026 se ubica muy por debajo de 2024: la flota acumula significativamente menos fallas año a año. El **gráfico de Duane** confirma el régimen de mejora ($\beta_{CA} < 1$) con separación vertical descendente entre series. Estas herramientas responden la pregunta gerencial clave: *¿las acciones implementadas produjeron mejora medible?*



14

La Estrategia que Produjo la Mejora



Fase 1: AMEF y Rediseños

Identificación de modos de falla. Primeros ajustes de diseño y procedimientos. $\beta = 0.87$ — régimen de mortalidad infantil.

Fase 2: RCA a Nivel de Equipo

El sello es el "fusible" — la causa real está en el equipo. Modificaciones de bases, skids y condiciones operativas. $\beta = 0.92$.

Fase 3: PdM y Estrategia Madura

Mantenimiento Predictivo aprovecha el régimen estable. Monitoreo por condición sustituye el calendario fijo. $\beta = 1.02$.

15

Aplicabilidad y Limitaciones del Marco

¿A qué componentes aplica?

El árbol de decisión aplica a **cualquier componente industrial de desgaste** con registros históricos de tiempo a falla: sellos mecánicos, rodamientos, impulsores, elastómeros. También es aplicable para analizar equipos, sistemas o subsistemas. Los pasos 1 al 5 son genéricos; solo la parametrización de costos requiere ajuste por tipo de componente.

También se puede evaluar por tiempos (años, meses, etc.) para comparar lo que se ha realizado y si esto ha tenido efectos en la mejora de la confiabilidad

Limitaciones a considerar

- **Homogeneidad:** La combinación de diferentes modos de falla puede distorsionar los resultados del análisis Weibull. En sistemas complejos, es preferible aplicar un **análisis reparable** para caracterizar correctamente la confiabilidad.
- **Tamaño de muestra:** Se debe seleccionar la mejor distribución matemática de acuerdo a la cantidad de la muestra.
- **Baja Calidad de datos:** No tener datos con calidad puede generar un sesgo en el análisis y podemos obtener resultados irreales.
- **Comparación interanual:** normalizar por exposición (fallas por equipo-año) antes de comparar curvas MCF entre periodos.

16

Conclusiones



1

Componente y flota son niveles complementarios

Analizar la vida individual del componente (Weibull) responde *cuándo intervenir*. Analizar la tendencia de la flota (MCF/Duane) responde *si las intervenciones están funcionando*. Ambos niveles son necesarios.

2

El patrón físico dicta la política

$\beta < 1 \rightarrow$ RCA. $\beta \approx 1 \rightarrow$ CBM o correctivo controlado. $\beta > 1 \rightarrow$ PM óptimo con T^* . Aplicar PM fijo sin conocer β puede ser hasta 40% más costoso que la alternativa correcta.

3

MCF cierra el ciclo PDCA

Superponer curvas por periodo anual permite responder con evidencia estadística: *¿mejoramos respecto al periodo anterior?* Una curva MCF más baja es la prueba cuantitativa de que las acciones funcionaron.

4

El criterio financiero no puede estar aislado

Minimizar $C(T^*)$ es el norte matemático, pero la decisión final debe ponderar criticidad del servicio, detectabilidad del modo de falla y contexto operativo real.



17

SESIÓN 33

**ESCANEA EL
CÓDIGO QR**



**RESPONDE UNA
BREVE ENCUESTA**



¡GRACIAS!

Edwin González

edwin.gonzalez@johncrane.com

18