

# MAGNA

INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

CURSO DE FORMACIÓN



**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN, GESTIÓN  
Y  
SUPERVISIÓN DEL MANTENIMIENTO DE  
EQUIPOS PESADOS**

Ing. CIP, CMRP Edison Muñante Mendoza

# Módulo 4

Confiabilidad de equipos

# 1. Confiabilidad y Gestión de Activos

## ¿Qué es confiabilidad?

- Es una metodología científica aplicada para conocer el desempeño de vida de productos, equipamientos, plantas o procesos; para asegurar que estos ejecuten su función, sin fallar, por un período de tiempo en una condición específica.

## Confiabilidad basada en el histórico de fallas

- Analiza el historial de fallas para identificar las acciones correctivas y proactivas que puedan efectivamente optimizar costos a través de la sistemática reducción de la ocurrencia de fallas y minimizando su impacto en el negocio

## En resumen

- Es la Probabilidad de que un ítem no falle en un tiempo determinado bajo ciertas condiciones de trabajo.



# Una definición formal

“La Ingeniería de Confiabilidad entrega herramientas teóricas y prácticas que permiten especificar, proyectar, probar y demostrar la probabilidad y la capacidad según la cual componentes, productos, equipamientos y sistemas desempeñarán sus funciones, por períodos determinados de tiempo, en ambientes específicos y sin presentar fallas.”



# Perspectiva Gerencial

- ¿Cuál es la expectativa de vida de un producto / equipamiento/sistema ?
- ¿Cuántos retornos/fallas son esperados para el próximo año?
- ¿Cuánto costará desarrollar y dar soporte a este producto?
- ¿Podemos optimizar los costos involucrados?



# ¿En qué casos lo podemos aplicar?

- ¿Cuál es la expectativa de vida de un producto/ equipamiento/sistema ?
- ¿Cuántos retornos/fallas son esperados para el próximo año?
- ¿Cuánto costará desarrollar y dar soporte a este producto?
- ¿Podemos optimizar los costos involucrados?
- ¿Cuánto es el tiempo de garantía que se ofrecería bajo una política del 95% de confiabilidad?
- ¿Qué proveedor elegir para firmar un contrato de compra de repuestos por 3 años?
- ¿Podemos mejorar la frecuencia de mantenimientos preventivos o intercambio de componentes?
- ¿Podemos proyectar los costos por baja confiabilidad en los próximos “n” años?

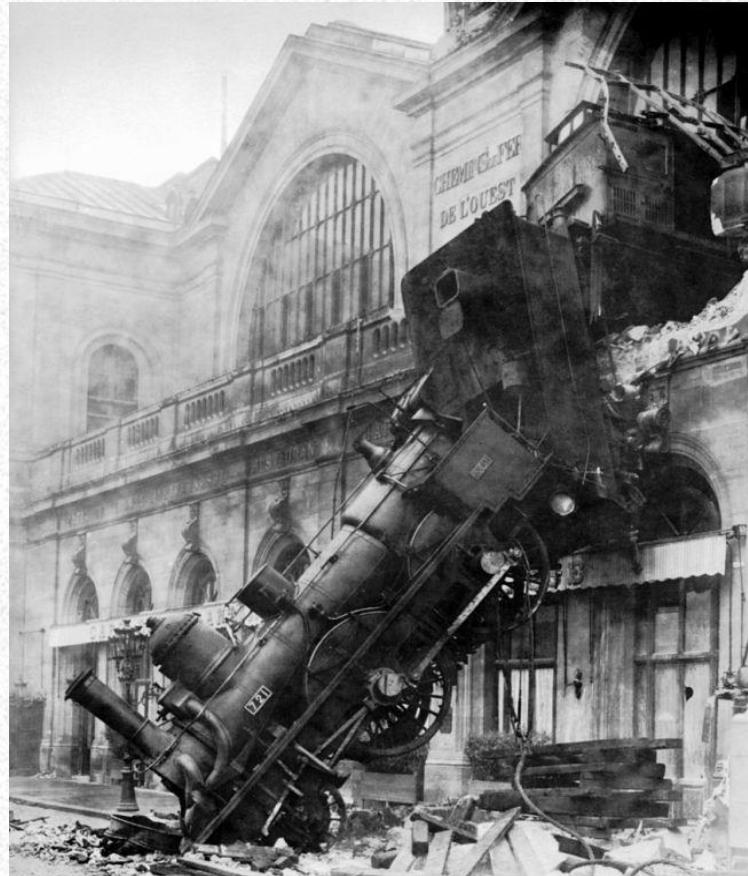


# Relación de confiabilidad y Seguridad

Las técnicas de confiabilidad y seguridad industrial tienen como objetivo el estudio de los sistemas para asegurar que estos van a cumplir con su función durante el tiempo que es requerido, que no fallen o que el fallo no tenga efecto. Asimismo, se estudian los posibles fallos que pueden ser intrínsecos a un sistema

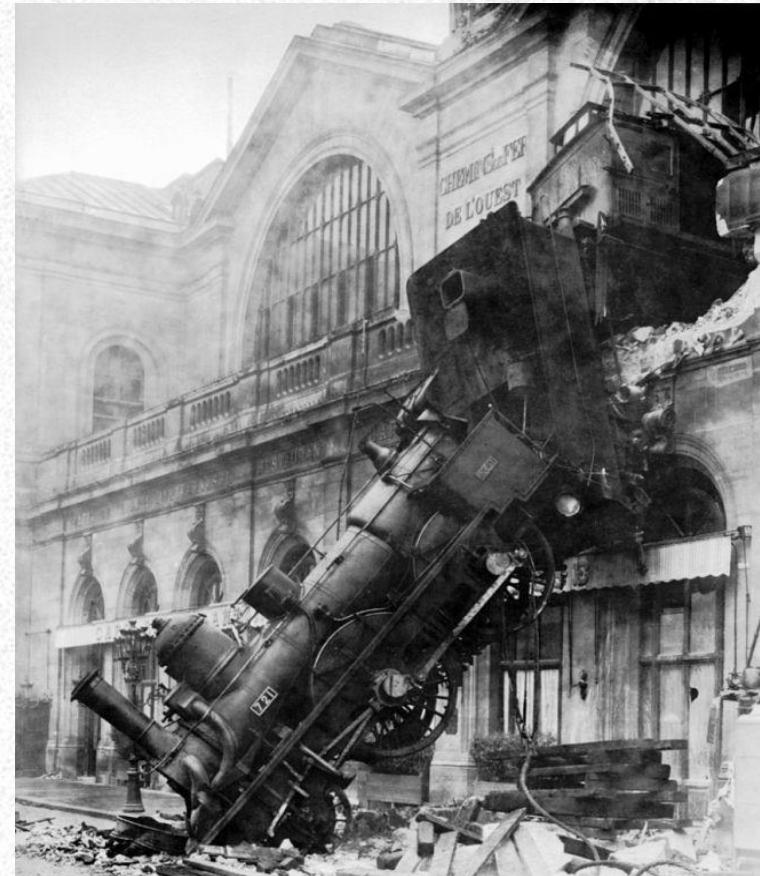
# Estación de Montparnasse, París 1895.

- La fotografía siguiente ilustra un accidente que ocurrió en la estación de Montparnasse de París en 1895 y ha pasado a la historia como uno de los primeros casos de estudio modernos de la ciencia de la confiabilidad.



# Estación de Montparnasse, París 1895.

- La locomotora 120-721 llegaba a la estación con 10 minutos de retraso entrando en la estación a una velocidad excesiva, de entre 40 y 60 km/h. Al activar el freno de emergencia, este no funcionó como debía y el tren se estrelló contra la topeta, atravesó los diez metros de vestíbulo, perforó una pared de 60 centímetros de espesor y cayó nueve metros hasta el nivel de la calle, donde la locomotora terminó clavada tal y como muestra la fotografía



# Eurofighter

El único prototipo del avión de combate 'Eurofighter' español, fabricado por EADS- CASA y valorado en 64 millones de euros, sufrió un accidente cuando realizaba un vuelo de pruebas a 45.000 pies de altura (15.000 metros) y a una velocidad de Mach 0.7. El avión se estrelló en noviembre del 2002 en Belvis de la Jara, provincia de Toledo. En ese momento se registró una parada simultánea de motores.



# Eurofighter

- El accidente se produjo cuando se registró una parada simultánea de los dos motores del avión.
- Desde el punto de vista del análisis de fiabilidad, la probabilidad de que dos sistemas críticos redundantes e independientes fallen a la vez, es prácticamente cero. Sin embargo, en el caso del Eurofighter ambos sistemas fallaron en el mismo momento.
- Aunque efectivamente los motores eran redundantes, ambos implementaban el mismo sistema de control (software) y por lo tanto, en caso de fallo en uno de los sistemas, el otro fallaría necesariamente debido a la misma causa. El nivel de criticidad que se le asignó al controlador del motor del avión, no era tan alto que obligara a un desarrollo independiente.
- Además, la tasa de fiabilidad de los motores, estimaban que no iban a fallar en toda su vida útil, de manera que no se implementaron barreras que previnieran de un fallo simultáneo de ambos motores.

# Relación de confiabilidad y Costos

## **Mina de Oro**

100 Kilos/hora

Precio actual

\$39250/kg Perdida  
= **\$3'925,000/hr**



## **Mina de Plata con 1**

**molino:** Perdida =

**\$70,000 por hora**



# Relación de confiabilidad y Costos

## Central Azucarera

30 toneladas  
molidas por hora.

Cuanto representa  
una hora parada en  
moneda local?



# Cálculo de la confiabilidad para equipos o sistemas reparables



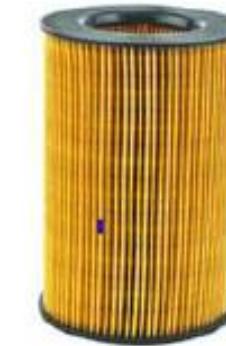
## Activos Reparables vs. No Reparables:

### Reparables

- Un elemento reparable es aquel cuya condición operativa puede ser restaurada después de una falla, por una acción de reparación diferente al remplazo total del mismo.
- En su vida puede ocurrir más de una falla.

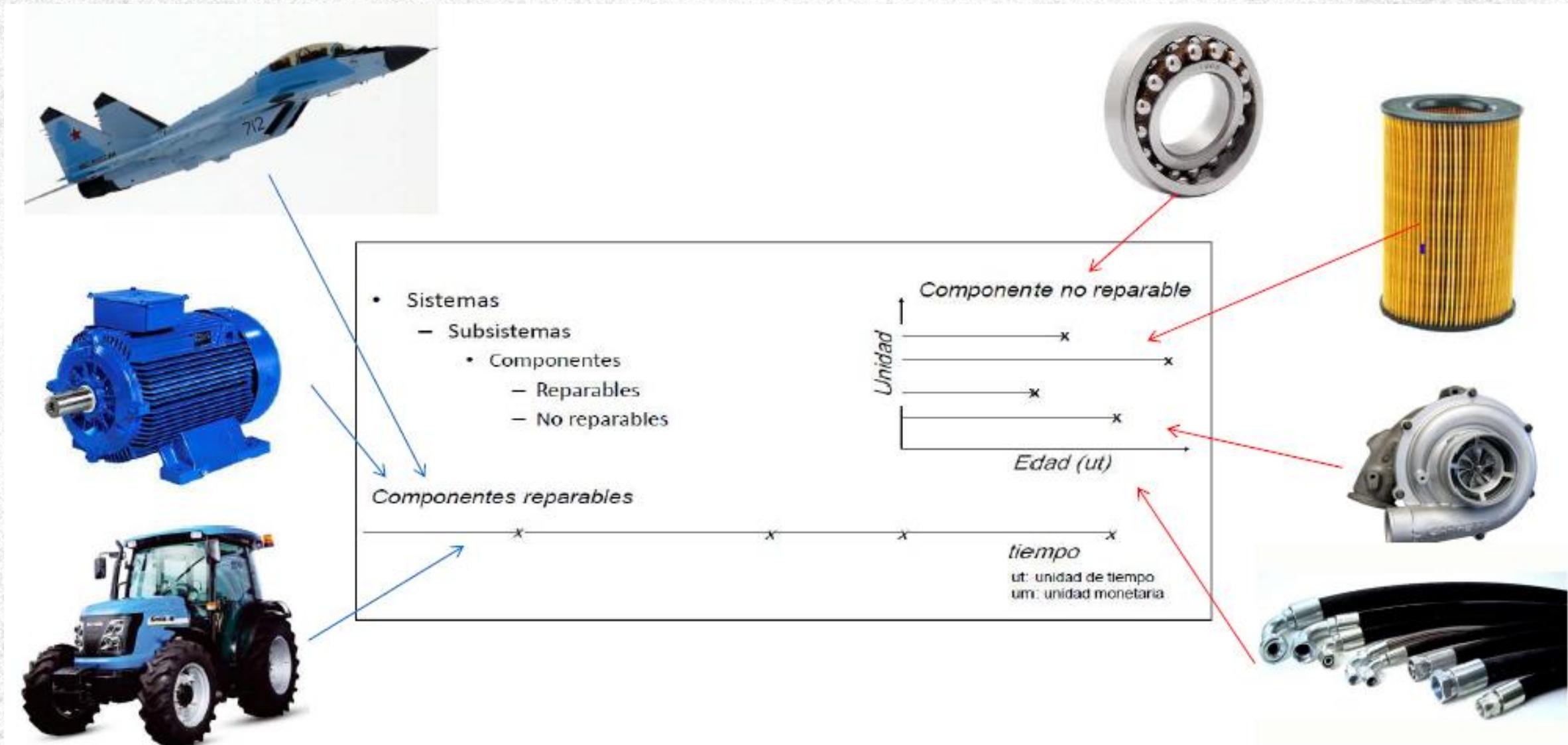
### No Reparables

- Un activo no reparable es aquel cuya condición operativa no puede ser restaurada después de una falla.
- Su vida termina con una “única” falla y debe ser reemplazado.

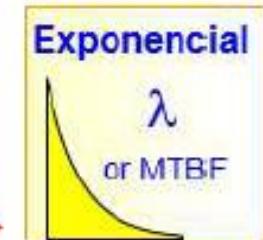
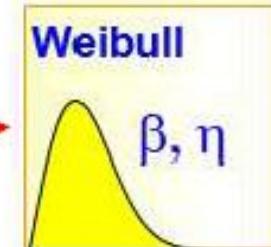
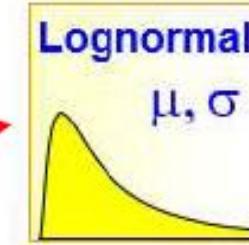
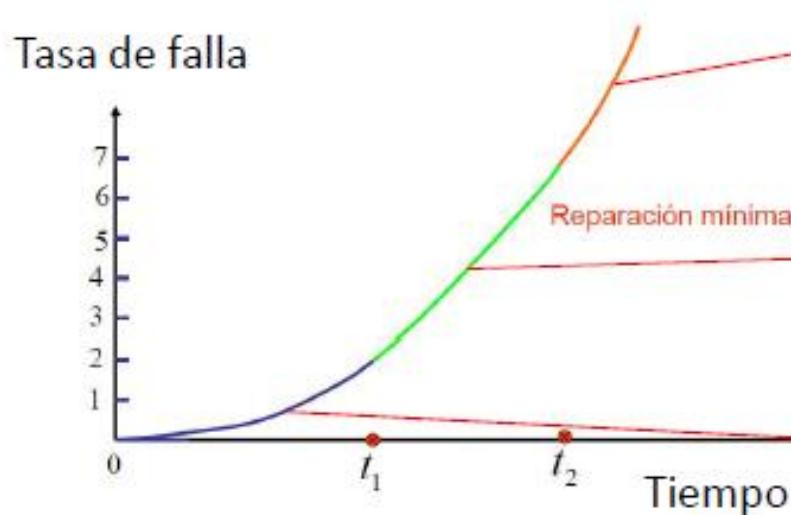
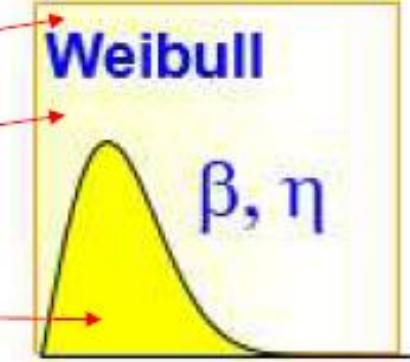
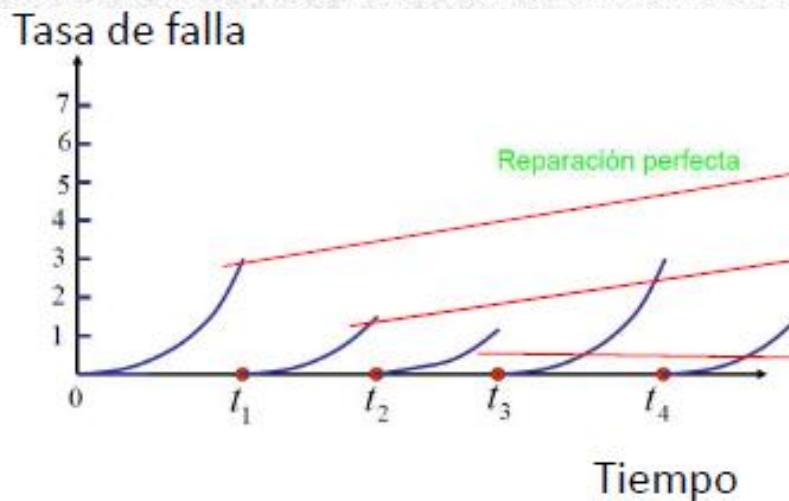


**Ojo:** Un activo no reparable se clasifica en base a la política de mantenimiento y/o reparación, volumen de control al que nos referimos y contexto operacional específico

# Cálculo de la confiabilidad para equipos o sistemas reparables



# Cálculo de la confiabilidad para equipos o sistemas reparables



# Cálculo de la confiabilidad para equipos o sistemas reparables

Existen dos formas

## Distribuciones continuas

- D. Normal
- D. Exponencial
- D. Lognormal
- D. Weibull
- etc

## Distribuciones discretas

- D. Poissoon (HPP)
- D. Binomial
- D. no Homogénea de Poissoon
- D. Dhilon

# Análisis de confiabilidad de equipos reparables

$F(t_i) = \text{Probabilidad de Fallas entre la } (i-1)^{\text{th}} \text{ falla y la } i^{\text{th}} \text{ falla}$

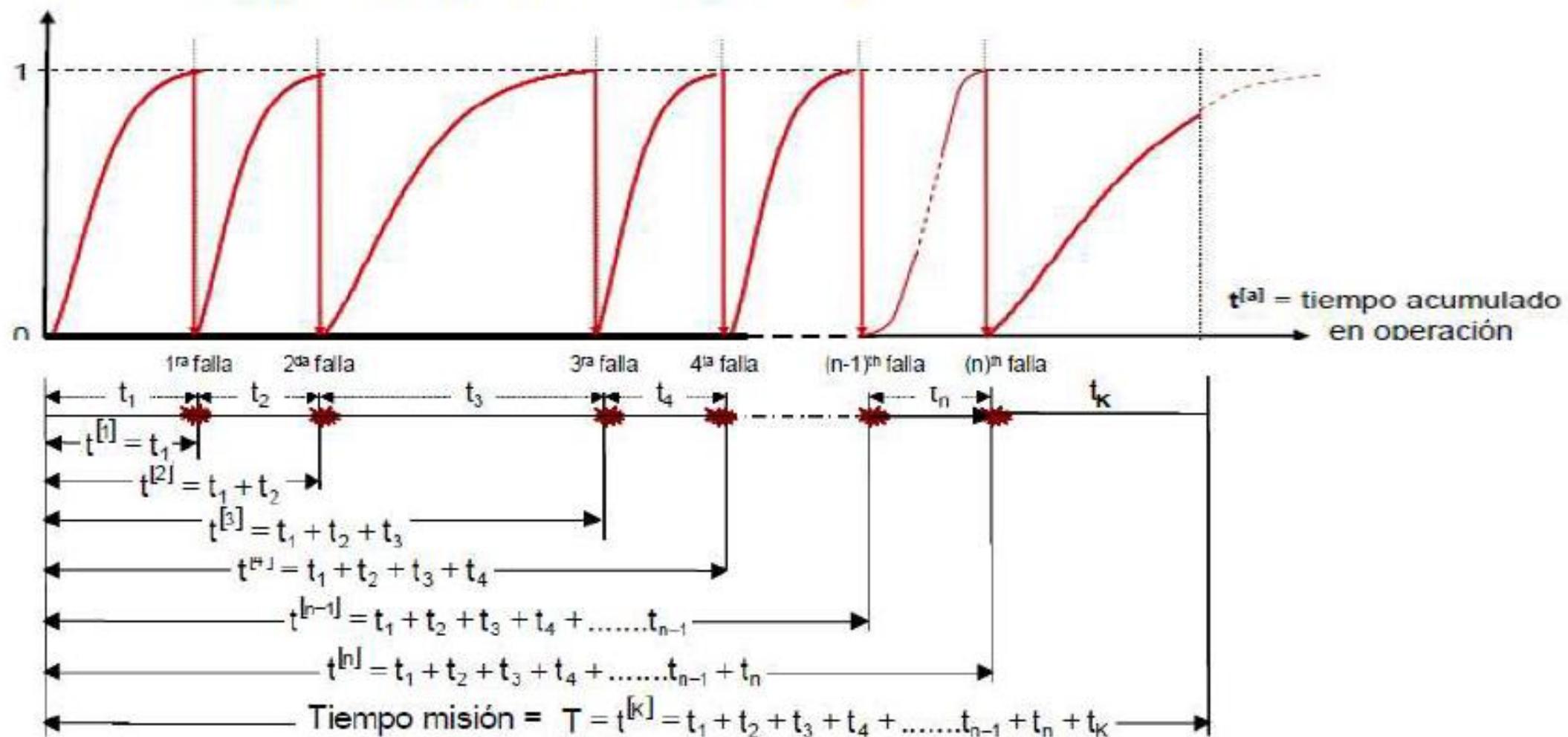
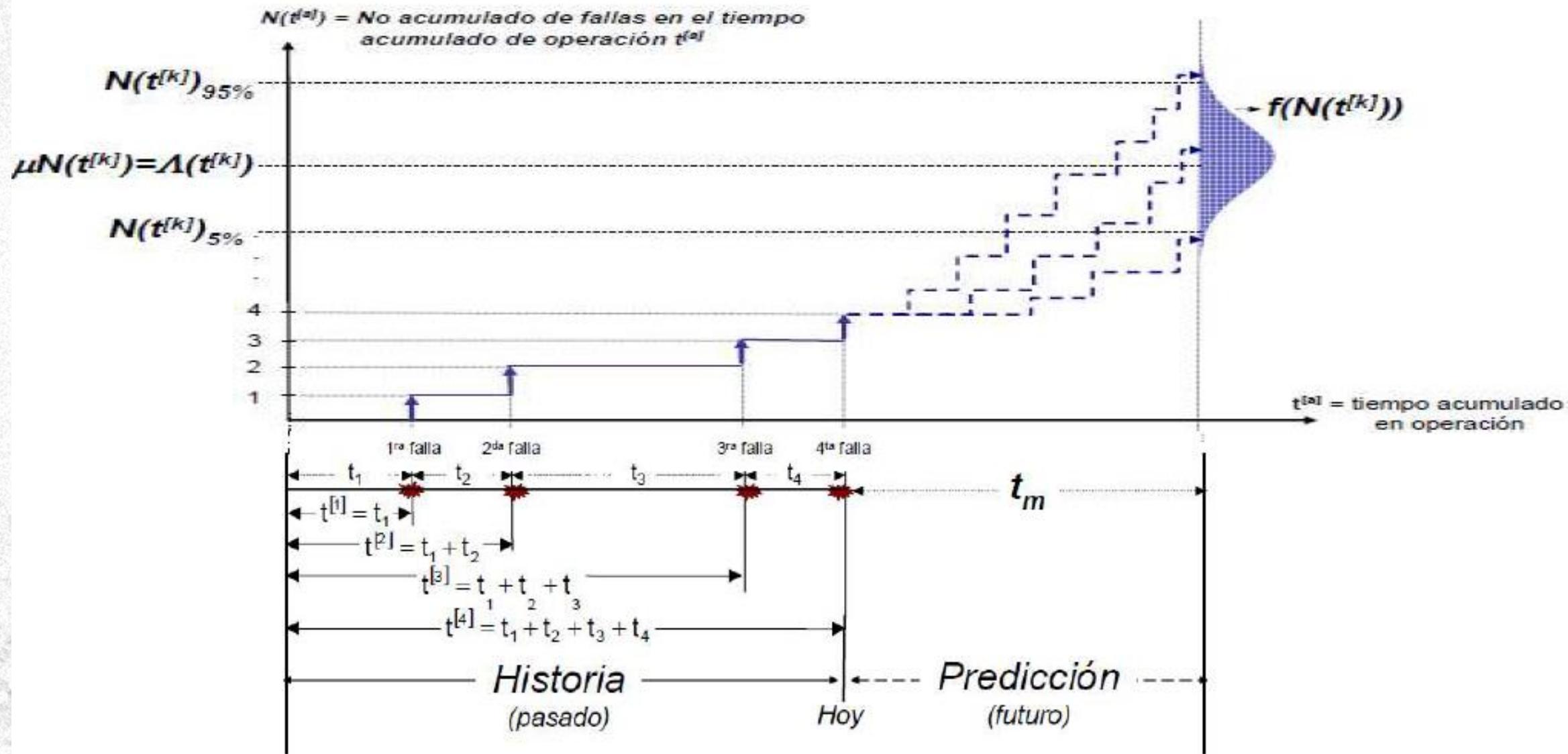
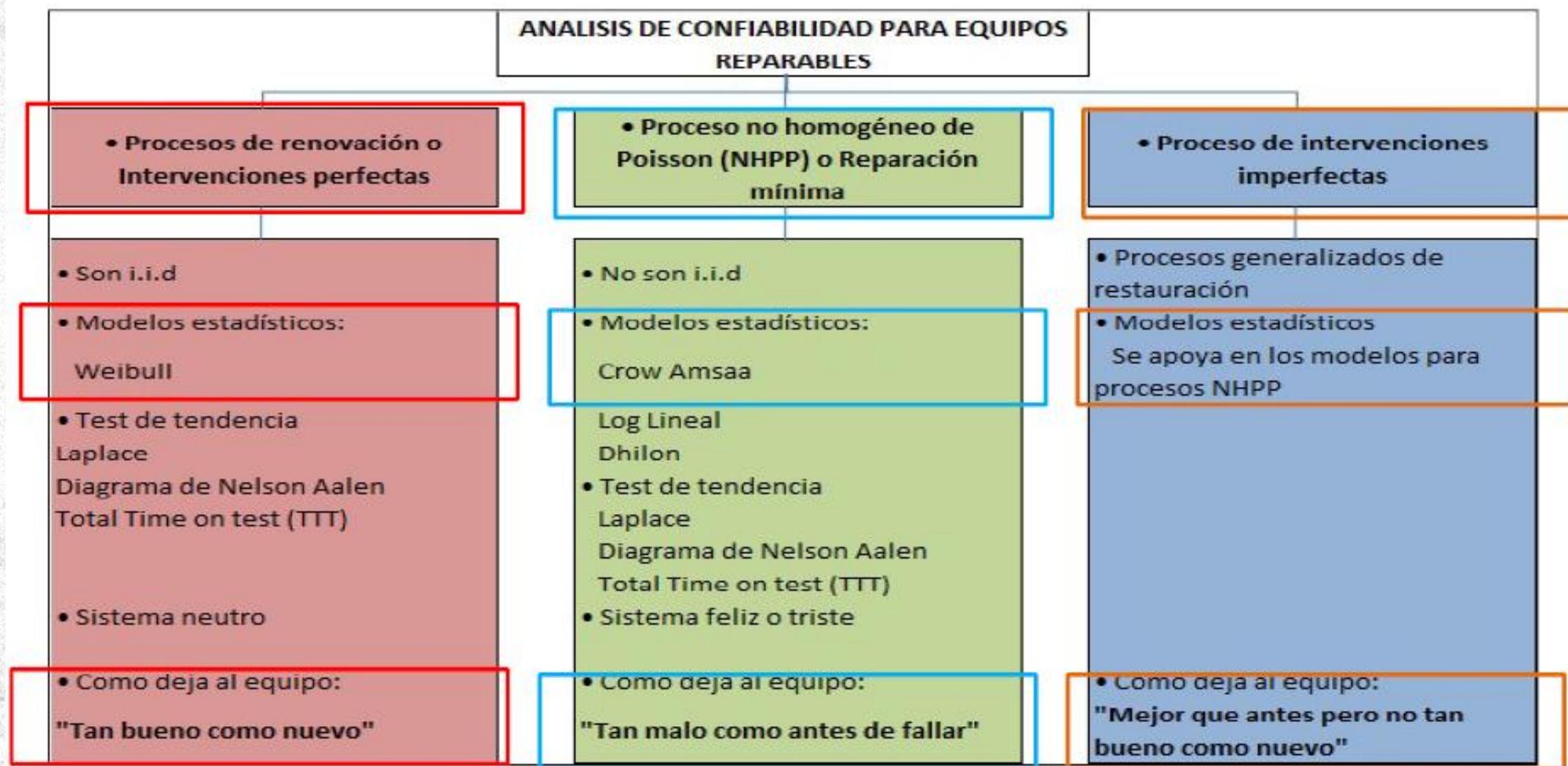


Figura 4.12-A: Proceso de fallas sucesivas. Nomenclatura

# Análisis de confiabilidad de equipos reparables

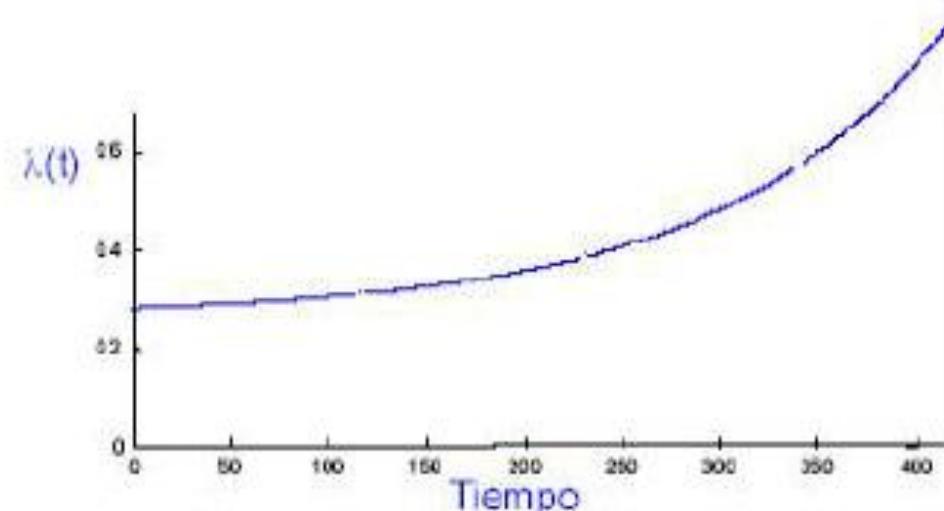
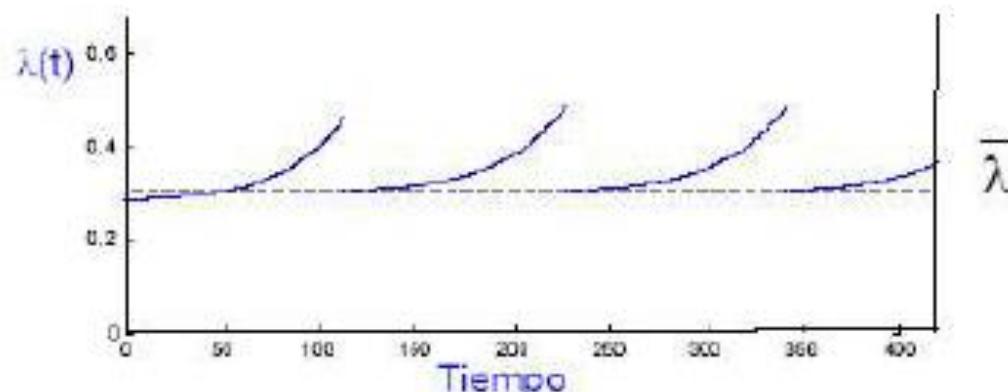
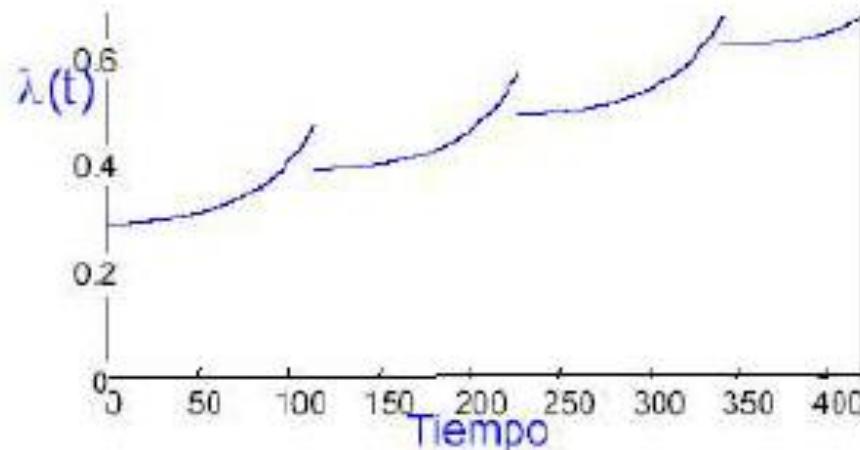


# Tipo de intervenciones en sistemas reparables



# Tipo de intervenciones en sistemas reparables

- tan bueno como nuevo
  - Intervenciones perfectas
    - Exponencial
    - Weibull,...
- tan bueno como antes
  - Intervenciones mínimas
- mantenimiento imperfecto



# Test de tendencia de Laplace

Cuando el sistema es observado hasta un tiempo  $t_0$

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n t_i - \frac{t_0}{2}}{\frac{n}{t_0} \sqrt{\frac{1}{12n}}}$$

- $t_0$ : tiempo de observación de las fallas
- $n$ : número de fallas observadas
- $t_i$ : tiempo entre fallas sucesivas
- Valido para  $n > 3$
- Si  $U=0$ , no hay evidencia de tendencia
- $U > 0$ , la tendencia es creciente (sistema triste). Existe degradación de la confiabilidad.
- $U < 0$ , la tendencia es decreciente (sistema feliz). Existe crecimiento de la confiabilidad.

Se recomienda usar un  $\alpha = 0.1$ , revisando tablas se obtiene que  $U = \pm 1.645$ . También se recomienda un  $\alpha = 0.05$  con  $U = \pm 1.96$ .

## Laplace Trend Test

- The Laplace trend test evaluates the hypothesis that a trend does not exist within the data. The Laplace trend test is applicable to the following data types: multiple systems-concurrent operating times, repairable and fleet. The Laplace trend test can determine whether the system is deteriorating, improving, or if there is no trend at all. Calculate the test statistic,  $U$ , using the following equation:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{\frac{N}{T}} - \frac{T}{2}$$

$$T \sqrt{\frac{1}{12N}}$$

where:

- $T$  = total operating time (termination time)
- $X_i$  = age of the system at the  $i^{th}$  successive failure
- $N$  = total number of failures

The test statistic  $U$  is approximately a standard normal random variable. The critical value is read from the standard normal tables with a given significance level,  $\alpha$ .

## Laplace Trend Test Example

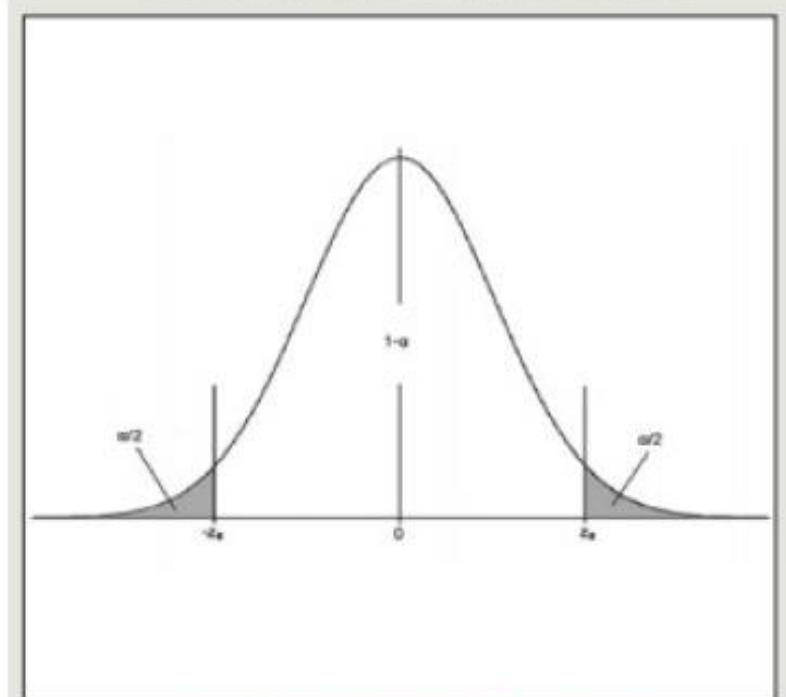
Consider once again the data given in the table above. Check for a trend within System 1 assuming a significance level of 0.10. Calculate the test statistic  $U$  for System 1.

$$U = -2.6121$$

From the standard normal tables with a significance level of 0.10, the critical value is equal to 1.645. If  $-1.645 < U < 1.645$  then we would fail to reject the hypothesis of no trend. However, since  $U < -1.645$  then an improving trend exists within System 1. If  $U > 1.645$  then a deteriorating trend would exist.

TABLE 2

	0.8	0.5	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	1.000	6.314	12.706	31.821	62.657	636.619	
2	0.816	2.920	4.303	6.965	9.925	31.588	



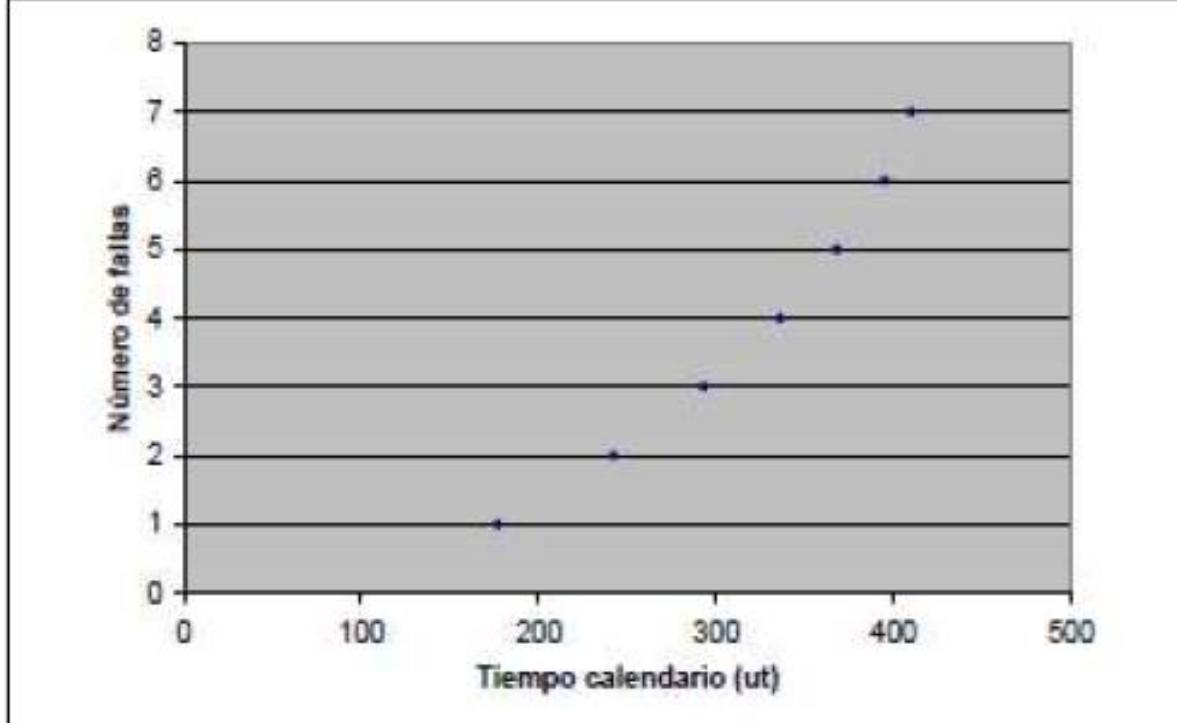
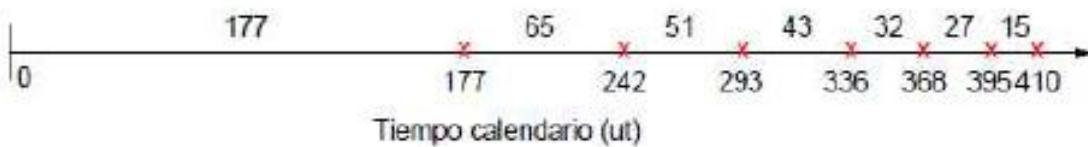
df	0.800	0.050	0.020	0.010	0.001	
30	0.683	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	0.681	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	0.679	1.671	2.000	2.390	2.690	3.460
120	0.677	1.658	1.980	2.359	2.643	3.373
∞	0.674	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

TABLE 2. Distribution of  $t$  (two-tailed) taken from Swinscow & Campbell.\*

# Diagrama de nelson Aalen

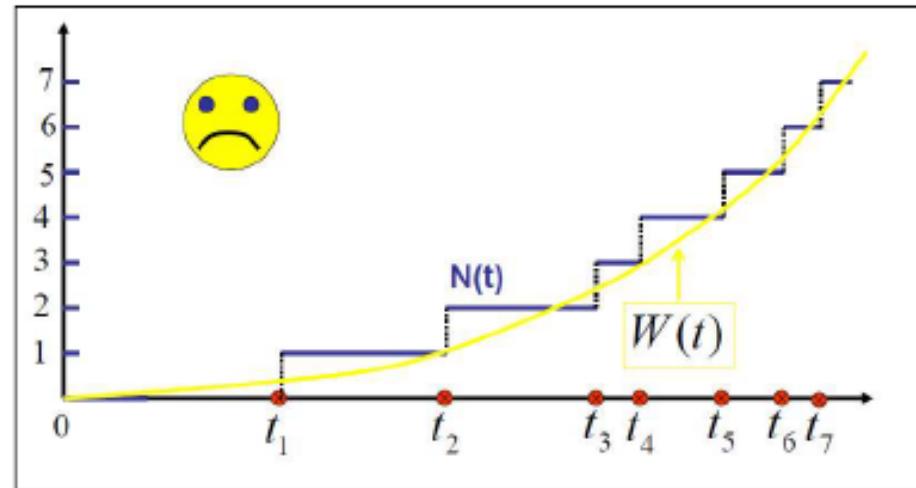
Número de fallas $N(t)$	Tiempo Calendario $S_j$	Tiempo entre fallas $T_j$
0	0	0
1	177	177
2	242	65
3	293	51
4	336	43
5	368	32
6	395	27
7	410	15

Cuadro 7.1: Historial de fallas de un sistema triste

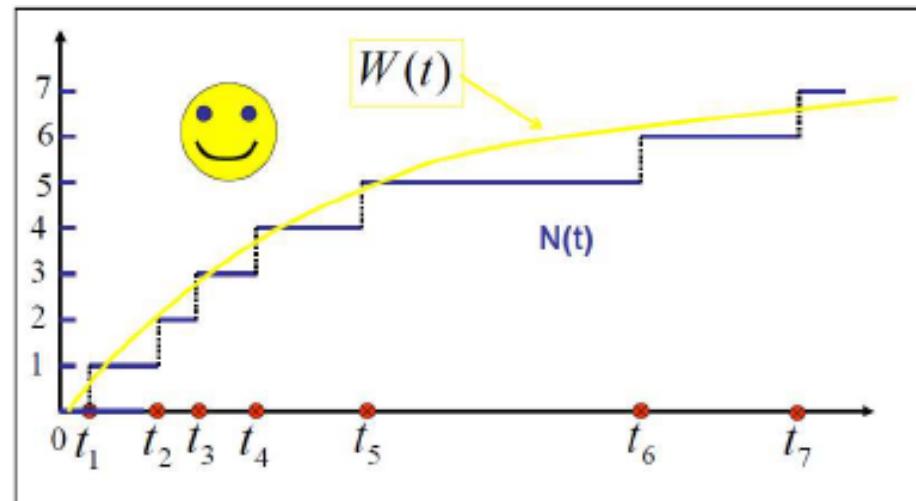


El numero de fallas es ilustrado versus el tiempo calendario, como se muestra en las figuras.

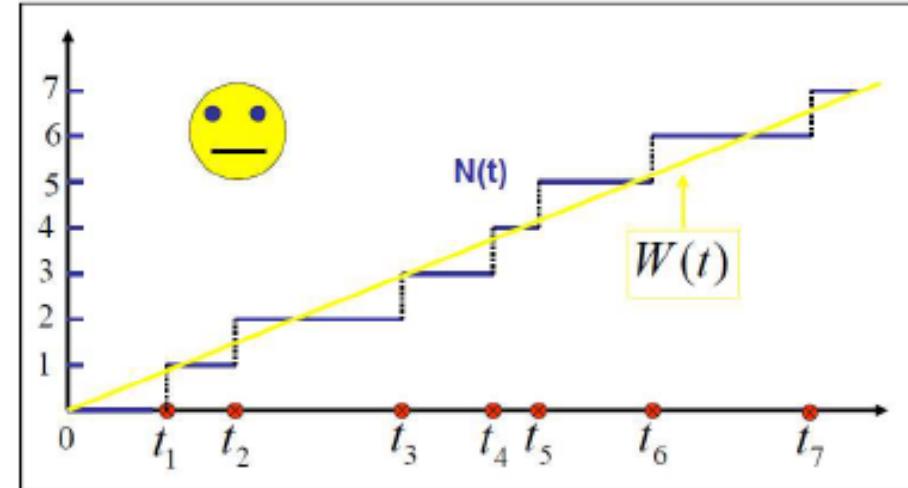
# Diagrama de nelson Aalen



- Sistema triste
- Existe degradación de la confiabilidad



- Sistema Feliz
- Existe crecimiento de la confiabilidad



- Sistema Neutro
- No existe tendencia

# Diagrama de nelson Aalen

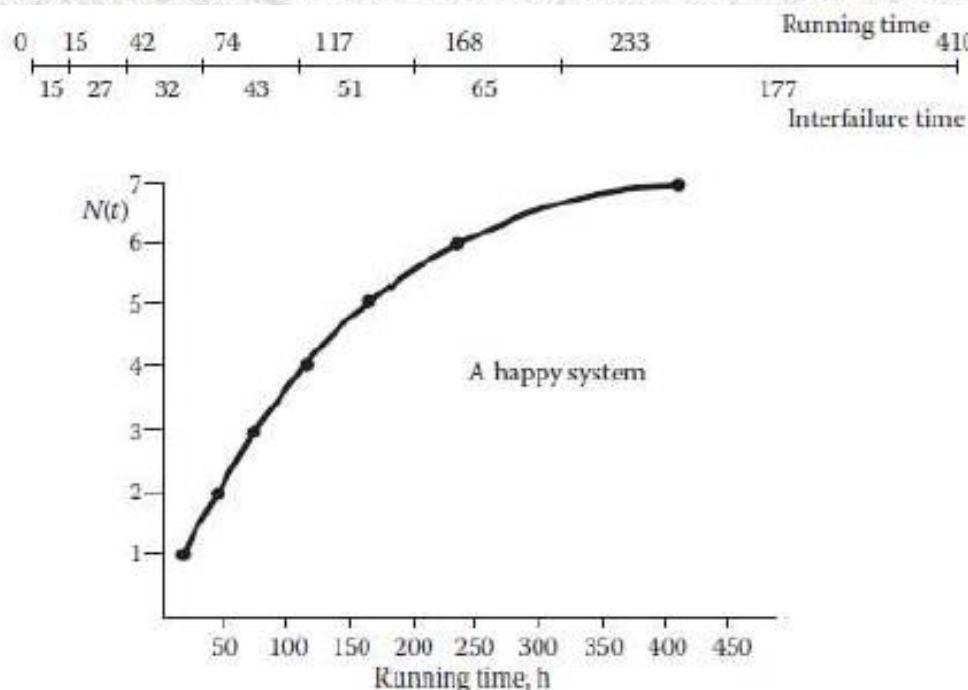


FIGURE A2.27 Failure data of machine H.

At a significance level  $\alpha$  of 5%, the lower bound of the test statistic for a two-sided test,  $u_{\text{crit},1} = -1.96$ . Because  $u$  is less than  $u_{\text{crit},1}$ , we can reject the null hypothesis of iid at  $\alpha = 5\%$  and accept the alternate hypothesis that there is reliability growth. Thus, it is not appropriate to perform a Weibull analysis on, or to fit any other probability distribution to, the data set for the purpose of modeling the failure time distribution.

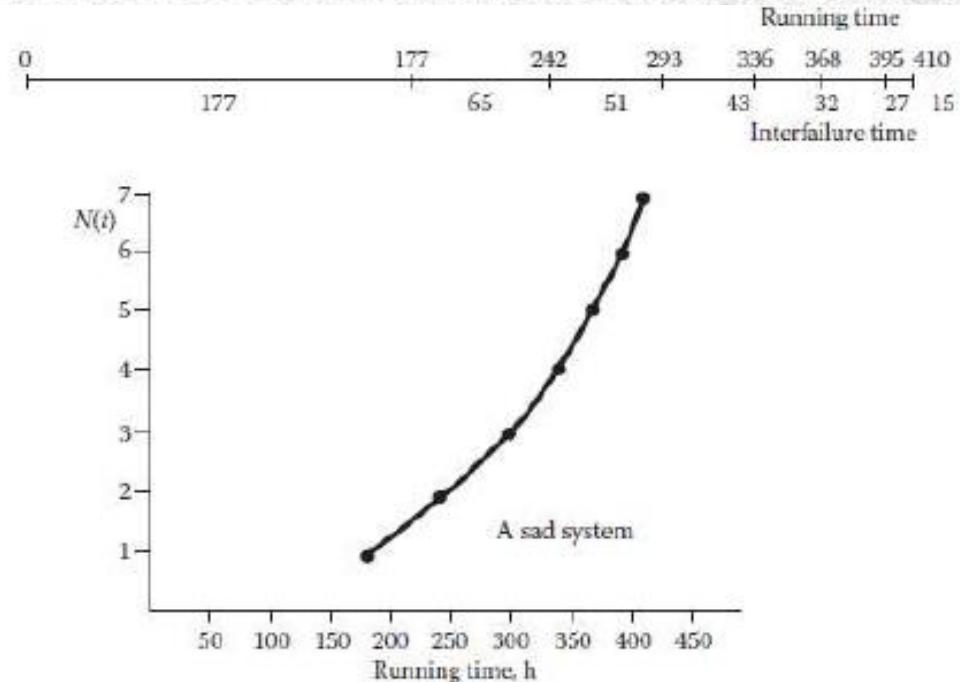


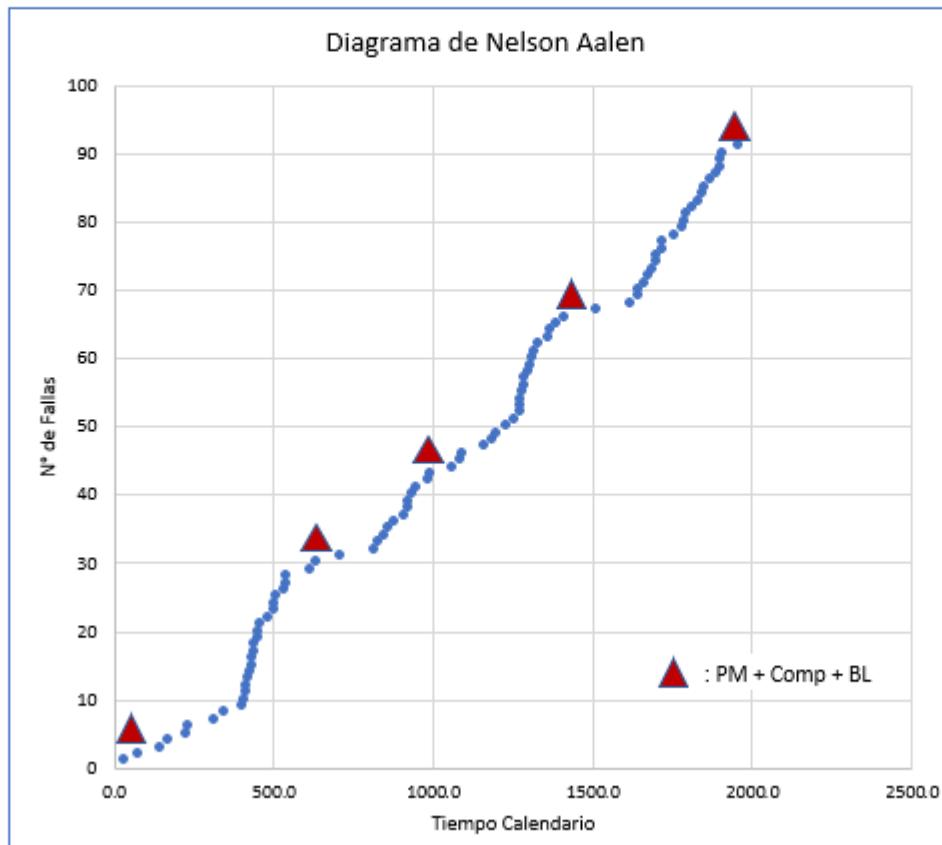
FIGURE A2.28 Failure data of machine S.

At a significance level  $\alpha$  of 5%, the upper bound of the test statistic for a two-sided test,  $u_{\text{crit},2} = +1.96$ . Because  $u$  is greater than  $u_{\text{crit},2}$ , we can reject the null hypothesis of iid at  $\alpha = 5\%$  and accept the alternate hypothesis that there is reliability deterioration. Thus, it is not appropriate to perform a Weibull analysis on, or to fit any other probability distribution to, the data set for the purpose of modeling the failure time distribution.

# Caso práctico

BASE DATOS PALA 203 p&h 4100XPC AC, OCT-NOV-DIC 2019

N de Fallas	Tiempo entre Fallas (Hrs)	Tiempo Calendario (Hrs)
1	33.7	33.7
2	41.8	75.5
3	69.3	144.9
4	30.3	175.2
5	51.3	226.5
6	7.4	233.9
7	84.5	318.4
8	31.6	350.0
9	53.0	402.9
10	8.3	411.2
11	7.2	418.4
12	0.2	418.6
13	6.9	425.5
14	5.2	430.6
15	6.8	437.5
16	0.9	438.4
17	1.9	440.3
18	2.0	442.3
19	9.9	452.2
20	1.8	454.0
21	9.7	463.6
22	24.0	487.6
23	14.8	502.4
24	1.7	504.1
25	8.4	512.5
26	25.4	537.9
27	6.2	544.1



## Test de Tendencia de Laplace

Suma  $t_i$  = 96975.2

n = 91

to = 1960.1

U = 1.4434235

### 1.- Nivel de significancia:

$\alpha$  = 0.5

$\Rightarrow -0,674 < U < 0,674$

Sistema triste, dregadación de la confiabilidad.

### 2.- Nivel de significancia:

$\alpha$  = 0.1

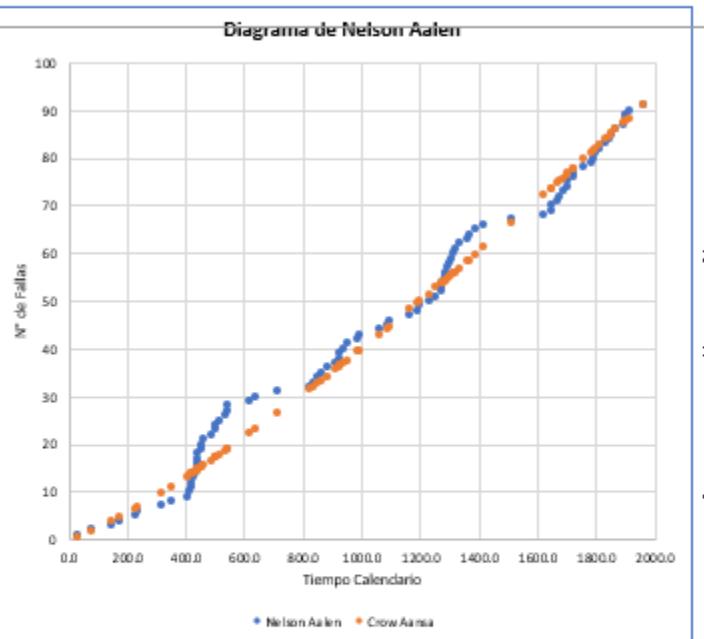
$\Rightarrow -1,645 < U < 1,645$

Sistema neutro (iid).

# Caso práctico

## BASE DATOS PALA 203 p/b 4100XPC AC, OCT-NOV-DIC 2019

de Falla	Tiempo Calendario	Ln(Tq/Xi)	V(t)
1	33.7	4.1	0.6
2	75.5	3.3	1.7
3	144.9	2.6	3.8
4	175.2	2.4	4.7
5	226.5	2.2	6.5
6	233.9	2.1	6.8
7	318.4	1.8	9.9
8	350.0	1.7	11.1
9	402.9	1.6	13.2
10	411.2	1.6	13.5
11	418.4	1.5	13.8
12	418.6	1.5	13.8
13	425.5	1.5	14.1
14	430.6	1.5	14.3
15	437.5	1.5	14.5
16	438.4	1.5	14.6
17	440.3	1.5	14.7
18	442.3	1.5	14.7
19	452.2	1.5	15.1
20	454.0	1.5	15.2
21	463.6	1.4	15.6
22	487.6	1.4	16.6
23	502.4	1.4	17.2
24	504.1	1.4	17.3
25	512.5	1.3	17.6
26	537.9	1.3	18.7
27	544.1	1.3	19.0
28	544.7	1.3	19.0
29	617.2	1.2	22.2
30	636.5	1.1	23.0
31	712.9	1.0	26.4
32	820.1	0.9	31.4
33	832.5	0.9	31.9
34	850.5	0.8	32.8
35	863.8	0.8	33.4
36	880.2	0.8	34.2
37	914.0	0.8	35.8
38	923.2	0.8	36.2
39	927.4	0.7	36.4



### Modelo de Crow Aansa

$$N_q = 91$$

$$T_q = 1960.1$$

$$\text{Suma } \ln(Tq/X_i) = 74.4$$

#### 1.- Parámetros:

$$\text{Beta} = 1.22$$

$$\text{Lamda} = 0.008578$$

$$\hat{\lambda} = \frac{N_q}{T_q^{\beta}}$$

#### 2.- N° esperado de fallas:

$$W(t) = \hat{\lambda} T^{\beta}$$

#### 3.- Predicción siguiente fallo futuro:

$$\text{Ultima falla N} = 91$$

$$T_{92} = 1977.7$$

$$\Delta t \text{ ultima fa} = 17.6$$

$$\hat{\beta} = \frac{N_q}{\sum_{i=1}^{N_q} \ln(\frac{T_q}{X_{i1}})}$$

$$t+k = \left( \frac{n(t)+1}{\hat{\lambda}} \right)^{1/\beta}$$

#### 4.- Confiabilidad:

$$R(t) = \Pr(N(t) - N(t_0) = 0) = e^{- \int_{t_0}^t w(t) dt} = e^{(-\hat{\lambda} t^{\beta})}$$

Test de Tendencia de Lapl. Cuando el sistema es observado hasta un tiempo  $t_0$

$$\text{Suma } t_i = 96975.2$$

$$n = 91$$

$$t_0 = 1960.1$$

$$U = 1.44342$$

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n t_i - \bar{t}_0}{\frac{n}{2}}$$

$$U = \frac{n}{t_0} \sqrt{\frac{1}{12n}}$$

Nivel de significancia:

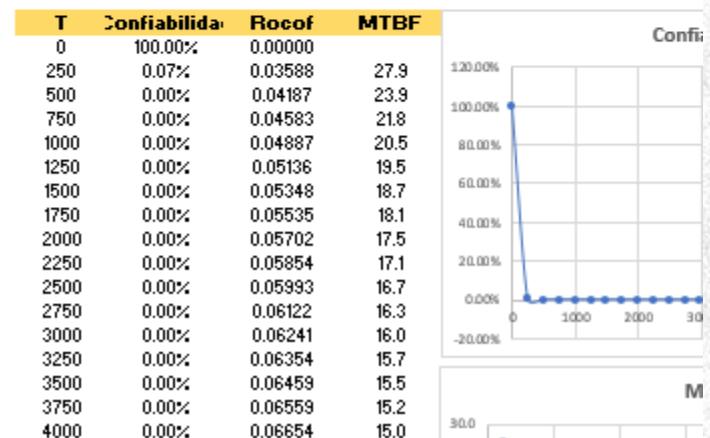
$$\alpha = 0.5$$

$$\Rightarrow -0.674 < U < 0.674$$

Proyección 1 año después de las 1960,1 hrs:  
17 hrs operacionales al día

Costo MC = 3000 US  
Mantenimiento correctivo

Tiempo Calendario	V(t)	Incremento de falla cada	Costos	Acumulado Costo	Confiabilidad
Cada 250					
1960.1	91				3.0144E-40 0
2210.1	105.4	14.4	\$ 43,162	\$ 43,162	1.7017E-46 0
2460.1	120.1	14.8	\$ 44,265	\$ 87,427	6.6501E-53 0
2710.1	135.2	15.1	\$ 45,280	\$ 132,707	1.8528E-59 0
2960.1	150.6	15.4	\$ 46,222	\$ 178,929	3.772E-66 0
3210.1	166.3	15.7	\$ 47,100	\$ 226,029	5.7293E-73 0
3460.1	182.3	16.0	\$ 47,925	\$ 273,955	6.6101E-80 0
3710.1	198.6	16.2	\$ 48,703	\$ 322,658	5.8839E-87 0
3960.1	215.0	16.5	\$ 49,440	\$ 372,098	4.0966E-94 0
4210.1	231.7	16.7	\$ 50,141	\$ 422,240	2.258E-101 0
4460.1	248.7	16.9	\$ 50,809	\$ 473,049	9.963E-109 0
4710.1	265.8	17.1	\$ 51,448	\$ 524,496	3.553E-116 0
4960.1	283.2	17.4	\$ 52,060	\$ 576,556	1.033E-123 0
5210.1	300.7	17.5	\$ 52,648	\$ 629,204	2.47E-131 0
5460.1	318.5	17.7	\$ 53,214	\$ 682,418	4.888E-139 0
5710.1	336.4	17.9	\$ 53,759	\$ 736,177	8.066E-147 0
5960.1	354.5	18.1	\$ 54,286	\$ 790,463	1.117E-154 0
6210.1	372.8	18.3	\$ 54,796	\$ 845,260	1.304E-162 0



## Gestión de Activos

**NO ES**

Transformación  
organizacional  
de un día para  
otro.

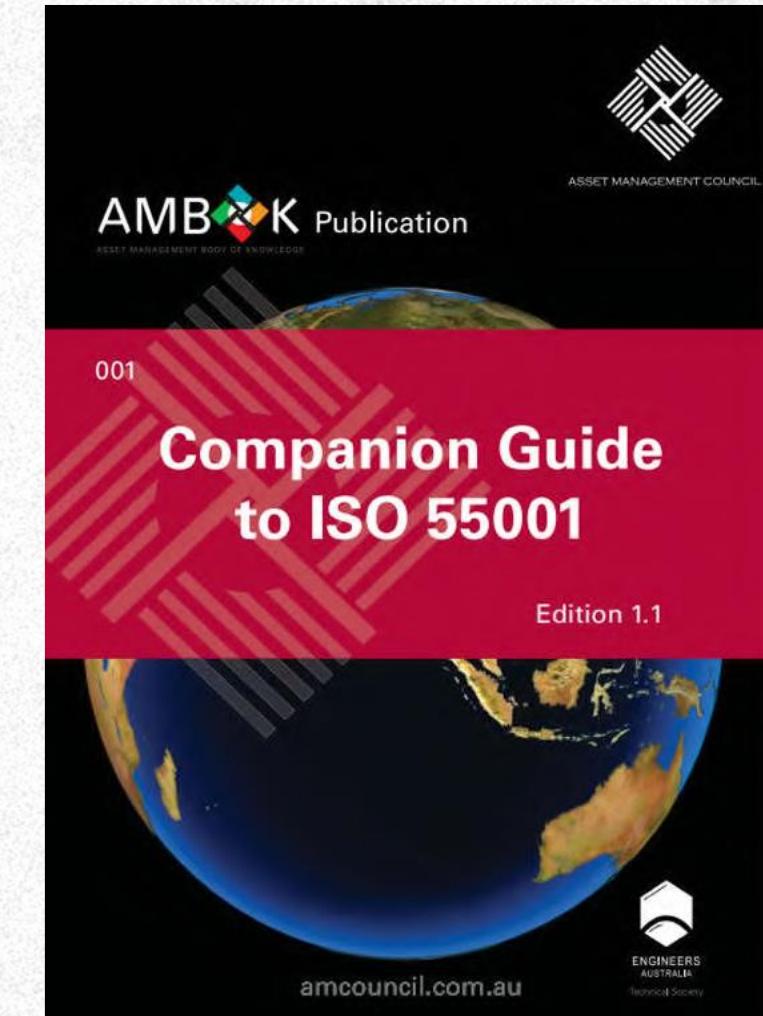
Receta para el  
éxito  
instantáneo.

Enfoque para la  
organización.

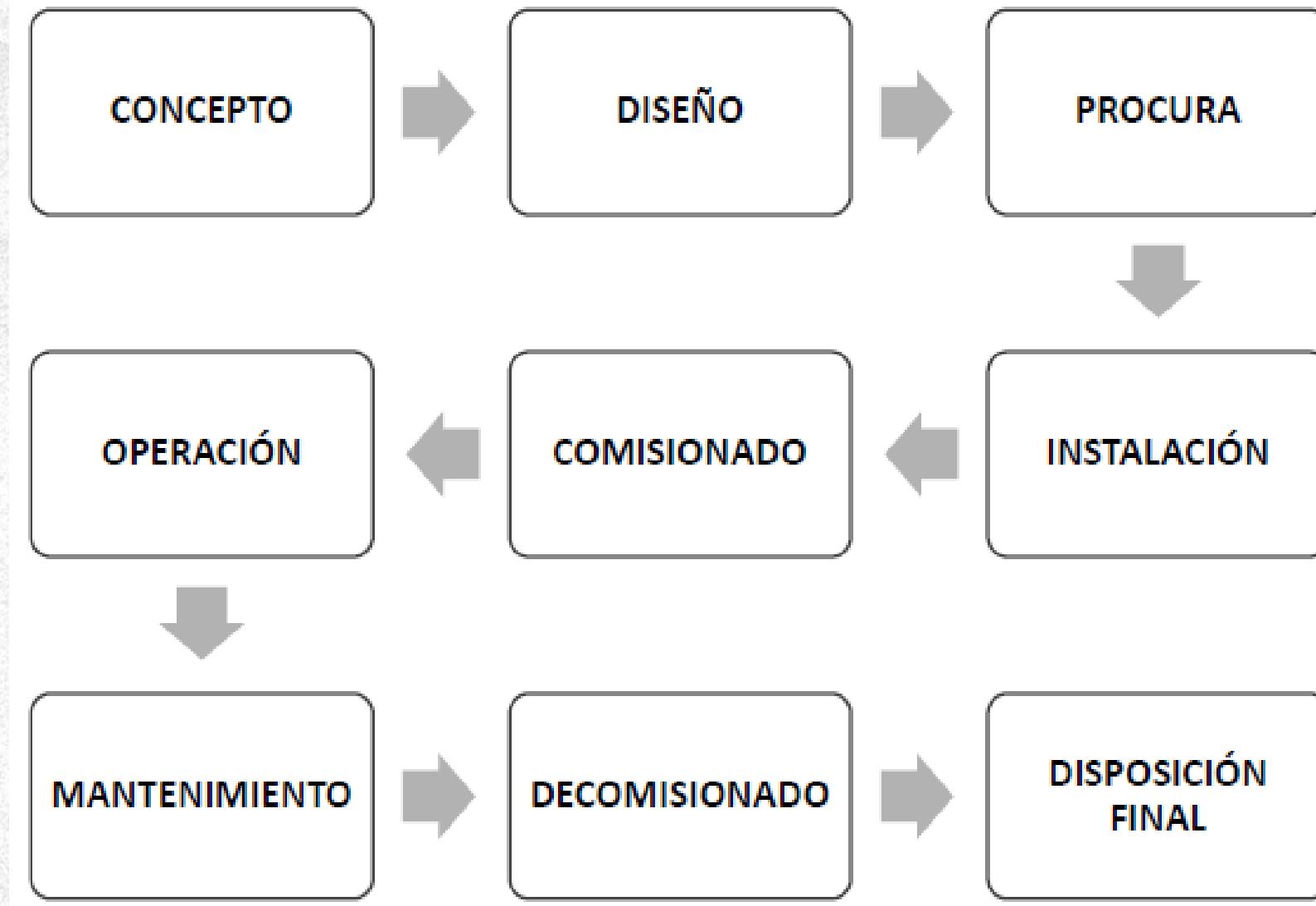
**ES**

Forma de  
pensar.

Transformación  
de la cultura y  
alineamiento  
organizacional.



# Gestión de activos



# Beneficios de la Gestión de activos

## Mejora del desempeño financiero

Mayor retorno de inversiones y reducción de costos, preservando el valor de los activos sin sacrificar en el corto o largo plazo la realización de los objetivos organizacionales.

## Decisiones informadas para la inversión en activos

Permitiendo a la organización mejorar su toma de decisiones balanceando de forma efectiva los costos, riesgos, oportunidades y desempeño.

## Gestión del riesgo

Reduciendo pérdidas financieras, mejorando la salud y seguridad, reputación, minimizando impacto ambiental y social, que pueden resultar en reducción de responsabilidades como primas de seguro, multas y penalidades.

# Beneficios de la Gestión de activos

## Mejora en los servicios y resultados

Asegura el desempeño de los activos conduciendo a mejora de servicios o productos que consistentemente cumplan o excedan las expectativas de clientes y partes interesadas.

## Demostrar responsabilidad social

Mejorar la habilidad de la organización para, por ejemplo, reducir emisiones, conservar recursos y adaptarse al cambio climático, demostrar prácticas de negocios éticas y socialmente responsables.

## Demostrar cumplimiento

Cumplir de forma transparente con los requerimientos, legales, estatutarios y regulatorios, así como adherencia a los estándares, políticas y procesos de gestión de activos.

# Beneficios de la Gestión de activos

**Mejor  
reputación**

**Mejora  
sostenibilidad  
organizacional**

**Mayor  
eficiencia y  
efectividad**

**Mejorando  
satisfacción del  
cliente y conciencia  
y confianza de las  
partes interesadas.**

**Gestionando  
efectivamente  
efectos de corto y  
largo plazo, gastos y  
desempeño.**

**Revisión y mejora  
de procesos,  
procedimientos y  
desempeño de los  
activos.**

## ¿Quiénes son la World Partners in Asset Management (WPiAM)?

WPiAM es un joint venture de organizaciones líderes sin fines de lucro. Los miembros de la organización incluyen a ABRAMAN (Brasil), AM Council (Australia), GSMR (Medio Oriente), JAAM (Japón), PEMAC (Canadá), SAAMA (Sudáfrica) y SMRP (EEUU).

## ¿Cuál es el rol del GFMAM?

El GFMAM creó la Especificación de Competencias para un Asesor/Auditor en sistemas de gestión de activos ISO 55001 que es el documento de referencia para el examen CAMA.

# GFM

## Global Forum On Maintenance & Asset Management

MAGNA  
INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL



The Society for Maintenance  
and Reliability Professionals  
(SMRP), USA



European Federation of  
National Maintenance  
Societies (EFNMS)



Asset Management Council  
(AMC), Australia



Associação Brasileira de  
Manutenção e Gestão de  
Ativos (ABRAMAN)



Gulf Society of Maintenance  
Professionals (GSMP), Arabian  
Gulf Region



Institute of Asset Management  
(IAM), UK



L'Institut Français D'Asset  
Management Industriel et  
D'Infrastructures (IFRAMI)



Plant Engineering and  
Maintenance Association of  
Canada (PEMAC)



The Southern African Asset  
Management Association  
(SAAMA)



Japan Institute of Plant  
Maintenance (JIPM)

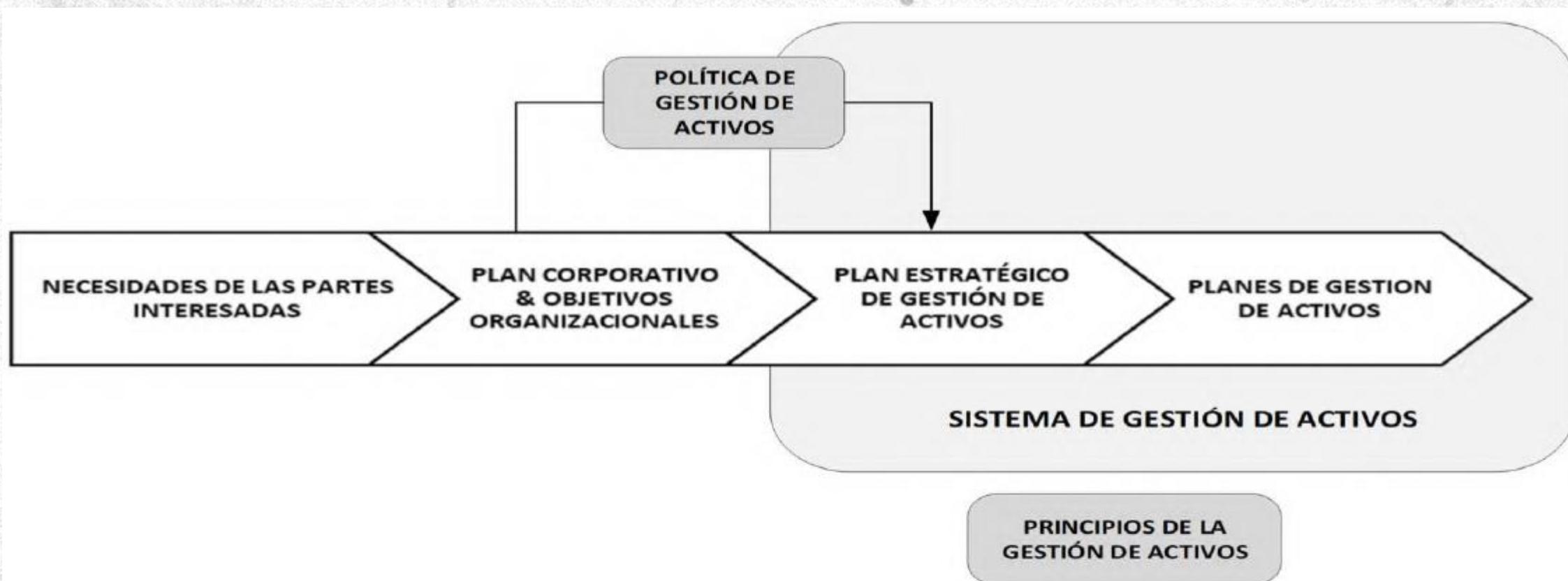


Japan Association of Asset  
Management (JAAM)



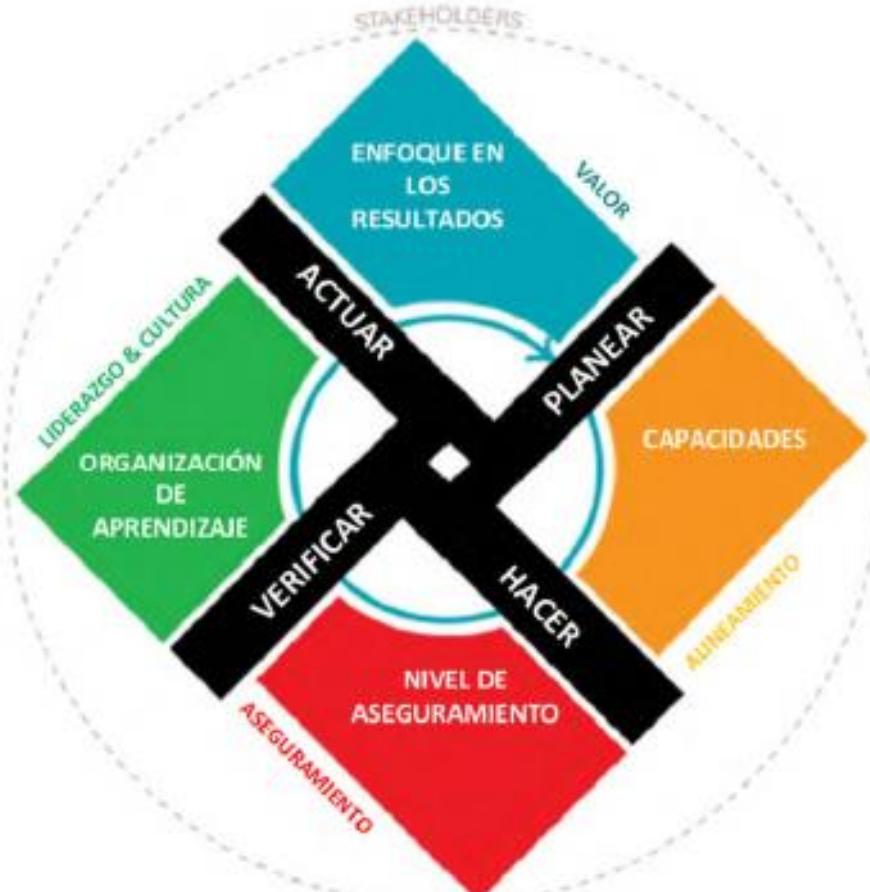
Bridge to Worldclass  
Maintenance & Asset  
Management, Bélgica

# Alineamiento de la gestión de activos



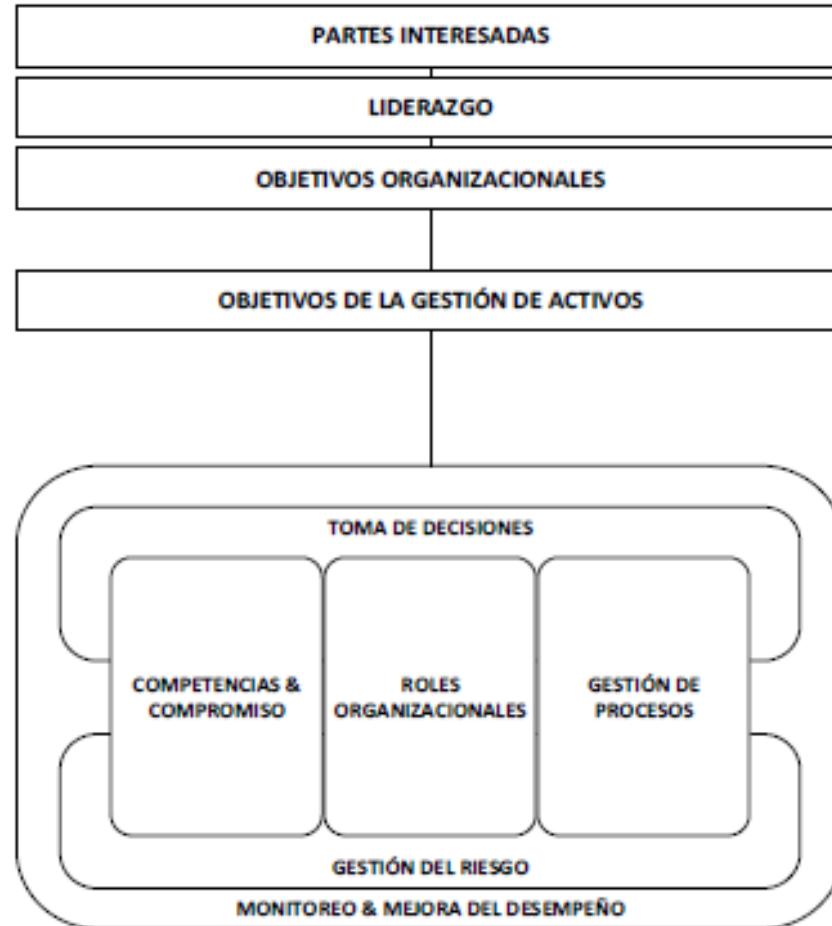
Fuente: "The Companion Guide for ISO 55001", p. 4 figura 1: Alineamiento entre las necesidades de las partes interesadas y los requisitos del sistema de gestión de activos - Adaptación y traducción: Víctor D. Manríquez

# Fundamentos de la gestión de activos



"The Companion Guide for ISO 55001", p. 5 figura 2: ilustra la aplicación de los fundamentos dentro de la gestión de activos. También muestra la relación directa entre los fundamentos de ISO y los principios claves de gestión de activos del AMC. - Adaptación y traducción: Víctor D. Manríquez

# Sistema de gestión de activos



"The Companion Guide for ISO 55001", p. 5 figura 3: Sistema de Gestión de Activos.- Adaptación y traducción: Víctor D. Manríquez

# Uso de la guía de acompañamiento

Esta guía está diseñada para ser leída y usada lado a lado con la norma ISO 55001, la cual contiene 70 sentencias obligatorias los “debe” (“shall”) que para propósitos de certificación requieren evidencia de soporte.

**4 Contexto de la organización**

**5 Liderazgo**

**6 Planificación**

**7 Soporte**

**8 Operación**

**9 Evaluación del desempeño**

**10 Mejora**

