



FACULTAD
DE INGENIERÍA
UNaM



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE MISIONES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA INDUSTRIAL II

UNIDAD VII

“Fiabilidad”

AÑO 2025

Confiabilidad

“confianza” que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica.

Durante un periodo de tiempo establecido, bajo condiciones estándares de operación.

Disponibilidad

Porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente.

También se puede expresar como el tiempo necesario que se puede atender a un cliente sin que se le diga que no.

Mantenibilidad

Expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos.

Fiabilidad es un concepto que nos permite establecer a través de la matemáticas las relaciones entre el tiempo de uso de una instalación y la frecuencia con la que aparecen esas fallas.

Para conocer la fiabilidad de una pieza o instalación, es necesario:
Definir perfectamente la falla que estamos evaluando
controlar las condiciones de trabajo en las que se desarrolla el ensayo.
establecer también la duración del intervalo de tiempo que puede ser
expresado en número de ciclos u operaciones que efectúa el sistema,
y finalmente es conveniente contar con un modelo matemático para poder
analizarla.

Variable aleatoria
es aquella que como resultado de un experimento u observación del
comportamiento de una máquina, puede tomar cualquier valor
previamente desconocido y que depende de factores fortuitos.

Las variables aleatorias pueden ser discretas y continuas. Las primeras
toman valores enteros, por ejemplo, la cantidad de estudiantes que
asisten a clase día tras día. Las segundas pueden tomar infinitos valores,
por ejemplo: diámetro de una pieza, tiempo hasta el fallo de un
elemento de máquina.

El mantenimiento está en el plano de la estadística, frente a fenómenos aleatorios desconocidos que se investigan a partir de datos mediante muestreo con el objetivo de establecer las leyes que pueden describirlos.

Para describir el comportamiento de una variable aleatoria, se necesita conocer la probabilidad con que la misma toma un valor dado.

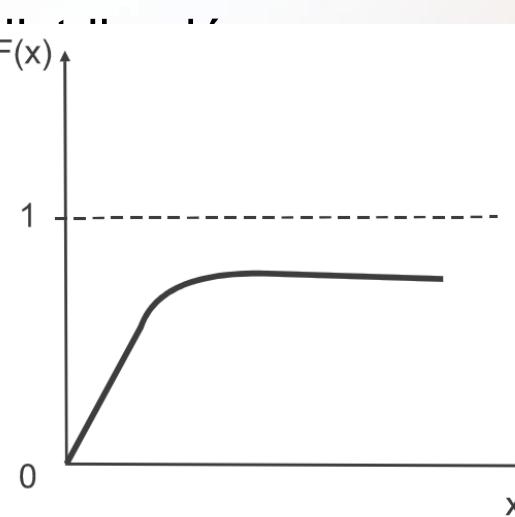
La ley de distribución de la variable es la relación que existe entre los posibles valores de la variable y sus probabilidades correspondientes.

Existen dos formas típicas para expresar una ley de distribución:

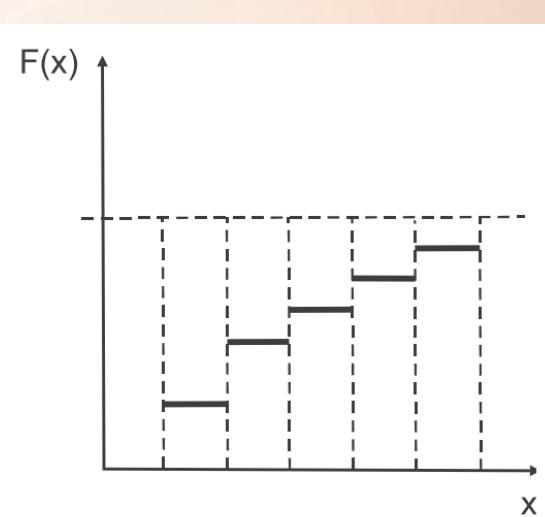
- la función de distribución.
- la densidad de probabilidad.

La función de distribución es la probabilidad de que la variable tome valores menores o iguales a x_1

$$F(x_1) = P(x \leq x_1)$$



a. Para variable continua



a. Para variable discreta

La función densidad de distribución $f(x)$ se define como la derivada de la función de distribución respecto a la variable aleatoria.

$$f(x) = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{F(x + \Delta x) - F(x)}{\Delta x} = \frac{dF(x)}{dx}$$

$F(x)$ = representa un área.

$f(x)$ = representa un punto.

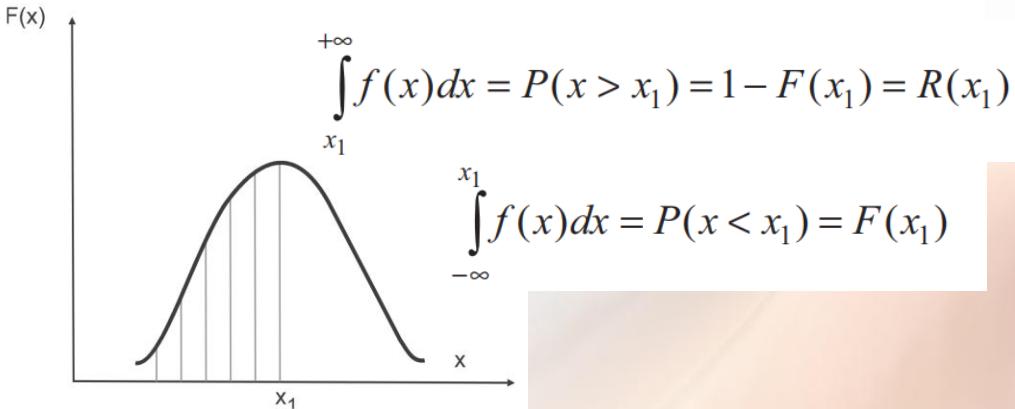
Entre sus propiedades están:

$$F(x) + R(x) = 1$$

Si la variable aleatoria x fuese el tiempo de trabajo útil hasta el fallo; entonces,

la función de distribución representa la probabilidad de fallo del artículo hasta cierto tiempo dado.

La función complementaria expresará la probabilidad de trabajo sin fallo hasta ese mismo valor del tiempo. Ambas funciones, en cualquier instante, suman lógicamente la unidad.



Para crear un modelo matemático para la probabilidad de fallo, consideramos el funcionamiento de un determinado elemento en el medio para él especificado.

Definimos la variable aleatoria como el tiempo durante el que el elemento funciona satisfactoriamente antes de que se produzca un fallo. La probabilidad de que el elemento proporcione unos resultados satisfactorios en el momento t se puede definir como "fiabilidad". La designamos $R(t)$.

La fiabilidad $R(t)$ está relacionada con la función inversa llamada infiabilidad $F(t)$ que tiene una probabilidad opuesta, es decir, la probabilidad de que ocurra un fallo antes del instante t .

$$F(t)=1-R(t)$$

Para entender la fiabilidad, analizaremos algunas características

Para conocer la fiabilidad de una pieza o instalación, es necesario:
Definir perfectamente la falla que estamos evaluando
controlar las condiciones de trabajo en las que se desarrolla el ensayo.
establecer también la duración del intervalo de tiempo que puede ser
expresado en número de ciclos u operaciones que efectúa el sistema,
y finalmente es conveniente contar con un modelo matemático para poder
analizarla.

Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad

Análisis (RAM) o CMD

R – Reliability (Confiabilidad): probabilidad de que un sistema funcione sin fallar durante un tiempo determinado.

A – Availability (Disponibilidad): proporción del tiempo en que el sistema está operativo respecto al tiempo total.

M – Maintainability (Mantenibilidad): facilidad y rapidez con que el sistema puede ser reparado o mantenido.

Estudia el comportamiento global de un sistema industrial en términos de su confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, con el objetivo de maximizar la productividad y minimizar costos de mantenimiento y paradas no planificadas.

El objetivo principal es **cuantificar el desempeño operativo** de un sistema o instalación, para:

- Identificar los **componentes críticos** que generan fallas o indisponibilidad.
- Optimizar el **plan de mantenimiento** (frecuencia, tipo y recursos).
- Evaluar **alternativas de diseño** que mejoren la confiabilidad o la facilidad de reparación.
- Estimar la **disponibilidad global de una planta o línea de producción**.

Relaciones entre CMD

Los elementos mantenimiento, producción y máquinas se relacionan entre sí a partir de premisas y normas de aceptación universal:

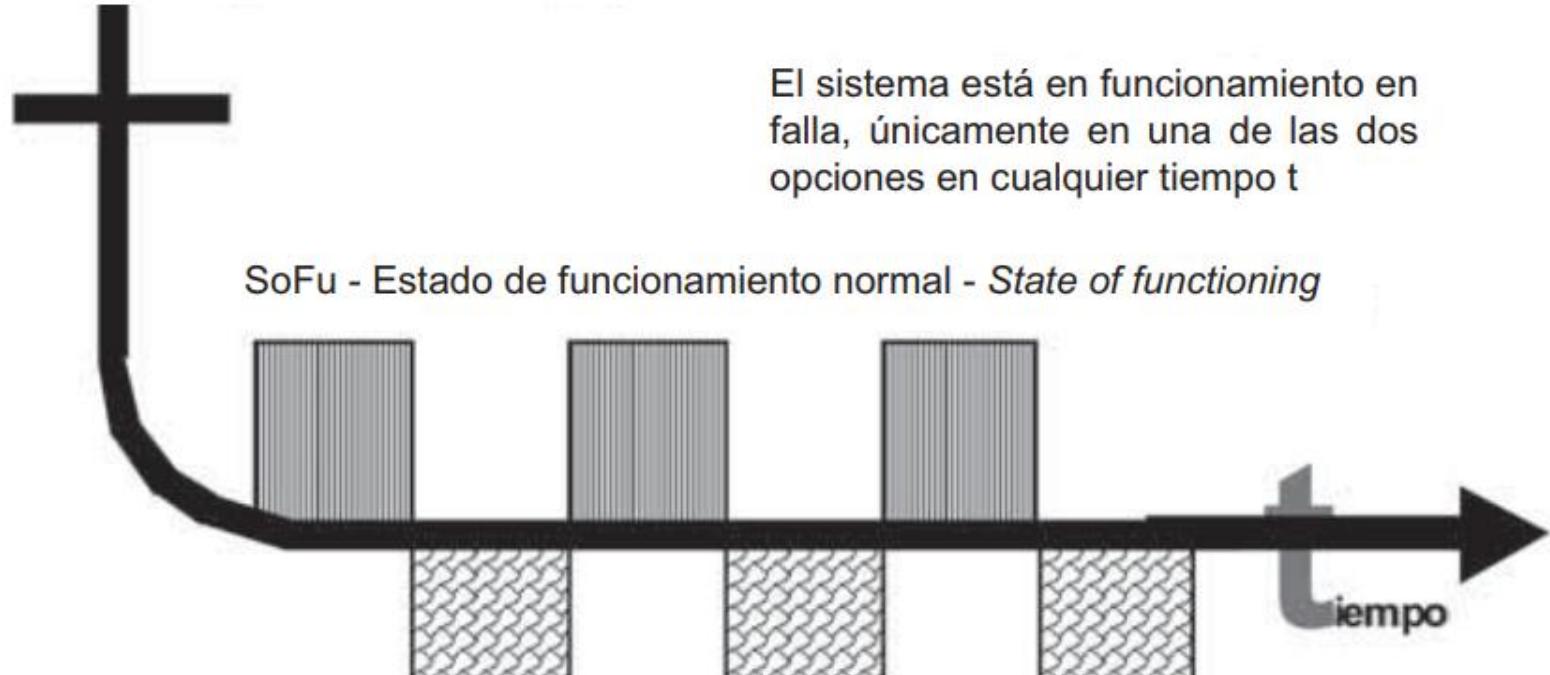
La relación entre productores (producción) y máquinas la establecen los principios de la *confiabilidad*.

La relación entre mantenedores (mantenimiento) y máquinas se define por las reglas de la *mantenibilidad*.

La relación entre mantenedores y productores se da por una relación indirecta a través de los equipos y está gobernada por los cánones de la *disponibilidad*.

Por medio del CMD es como se pueden planear, organizar, dirigir, ejecutar y controlar totalmente la gestión y la operación del mantenimiento.

Condición operacional del equipo - Funcionalidad



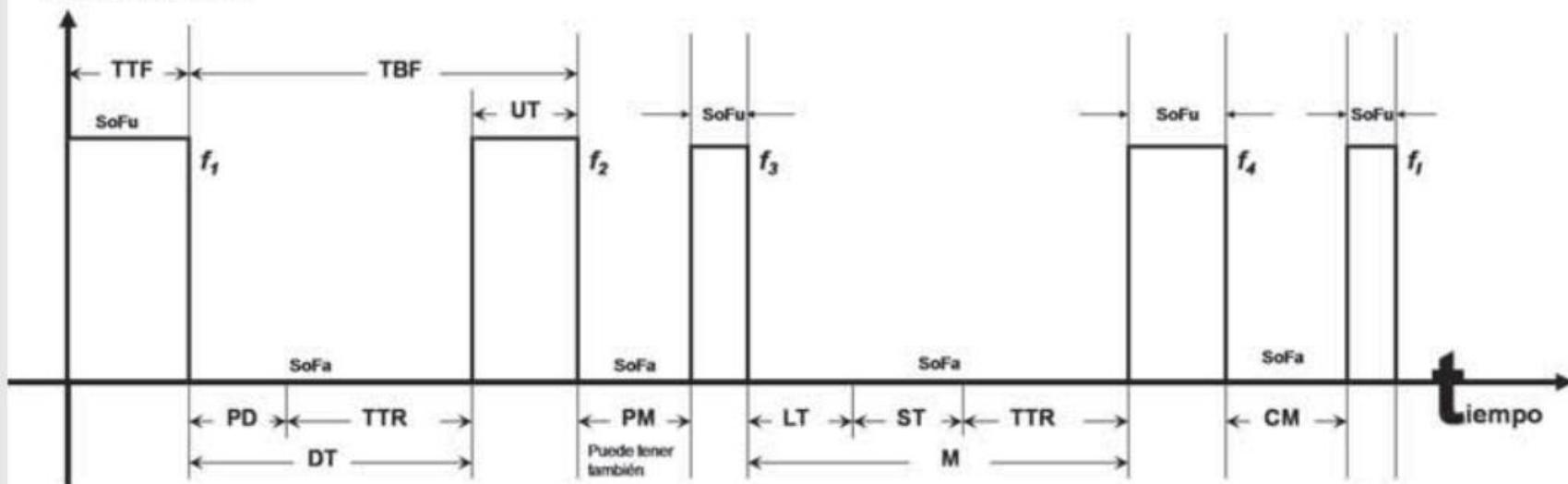
El sistema está en funcionamiento en falla, únicamente en una de las dos opciones en cualquier tiempo t

SoFu - Estado de funcionamiento normal - *State of functioning*

SoFa - Estado de falla - *State of failure*

la confiabilidad se asocia a máquinas y la mantenibilidad a personas de mantenimiento.

Estado de funcionamiento



Donde:

TTF = Time To Failure = Tiempo hasta Fallar (se usa en equipos que solo fallan una vez, no reparables).

TBF = Time Between Failures = Tiempo entre Fallas.

UT = Up Time = Tiempo Útil en el que equipo funciona correctamente.

DT = Down Time = Tiempo no operativo.

f_i = Falla i-ésima

TTR = Time To Repair = Tiempo que demora la reparación.

CM = Corrective Maintenance = Tiempo que demora la reparación correctiva o modificativa.

PM = Planned Maintenance = Mantenimientos Planeados (preventivo y/o predictivo), Moubray los denomina Tareas Proactivas.

LT = Logistical Times = Tiempos logísticos o administrativos (incluye MD (Maintenance Delays) demoras y retrasos de mantenimiento).

ST = Supplies Times = Tiempos de suministros de repuestos, insumos o de recursos humanos.

NTTR = Net Time To Repair = Tiempo Neto para la reparación, no incluye ni demoras, ni tiempos logísticos, ni tiempos de suministros, ni otros tiempos exógenos que impiden la reparación.

Indicadores típicos del análisis RAM

| Indicadores | Significado | Fórmula básica |
|---------------------------|--|---|
| MTBF | Tiempo Medio Entre Fallas (Mean Time Between Failures) | Total de tiempo operativo / N° de fallas |
| MTTR | Tiempo Medio de Reparación (Mean Time To Repair) | Tiempo total de reparación / N° de reparaciones |
| Disponibilidad (A) | Probabilidad de que el sistema esté funcionando en un momento dado | $A = MTBF / (MTBF + MTTR)$ |

Ejemplo: Línea de envasado. Durante un año se registran los siguientes datos:

- Tiempo total operativo: 8000 h
- Tiempo total en reparación: 400 h
- N° de fallas: 50

Tiempo Medio Entre Fallas

$$MTBF = \frac{8000}{50} = 160 \text{ h}$$

Tiempo Medio de Reparación

$$MTTR = \frac{400}{50} = 8 \text{ h}$$

Disponibilidad

$$A = \frac{160}{160 + 8} = 0.952 = 95.2\%$$

La línea de envasado tiene una **disponibilidad del 95.2%**, lo que significa que el sistema está operativo el **95% del tiempo**. El análisis RAM permitiría identificar qué componentes o subsistemas reducen la confiabilidad o aumentan los tiempos de reparación, y así priorizar mejoras.

CONFIABILIDAD (FALLAS)

La confiabilidad de un equipo es la **frecuencia** con la cual ocurren las fallas en el tiempo (ESReDa, 1998). Si no hay fallas, el equipo es 100% confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable, pero si es muy alta, el equipo es poco confiable.

La confiabilidad está estrechamente **relacionada** con la calidad de un producto. *La calidad se define cualitativamente como la cantidad de satisfacción en cuanto a los requerimientos de los usuarios de un producto.*

La confiabilidad se define como la **probabilidad** de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña, durante un período de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación, ambientales y del entorno.

La probabilidad de ocurrencia de un evento se define mediante la expresión:

$$P_f = \left(\frac{n}{N} \right)$$

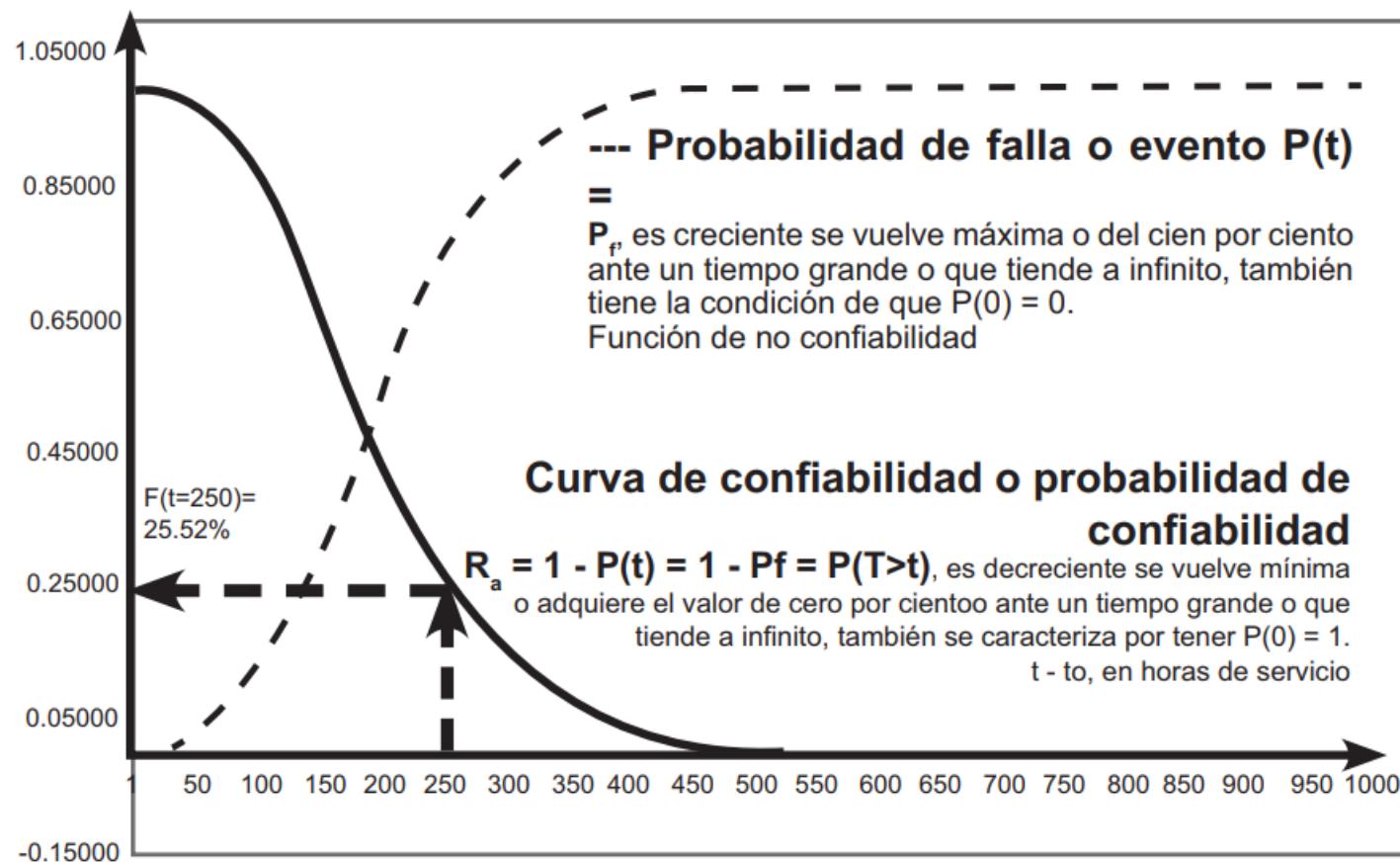
Donde:

N es (son) el (los) eventos (s) de falla (en confiabilidad) por estudiar; N es el número total de eventos posibles; Pf es la probabilidad de falla.

Función de confiabilidad

$$R(t) = P[t < T]$$

$R(t)$ es la función de confiabilidad o supervivencia, la cual decrece en la medida en que se incrementa el tiempo, al igual $R(0)=1$ o sea que siempre la probabilidad de confiabilidad de cualquier elemento antes de iniciar su funcionamiento es máxima del ciento por ciento (100%); t es el tiempo determinado para evaluar el funcionamiento. $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$, expresa que todo elemento o máquina, siempre entra en estado de falla, así sea en un tiempo grande o infinito (Leemis, 1995).



Cálculo de confiabilidad (tasa de falla constante)

La fórmula depende de cómo se comportan las fallas en el tiempo. El modelo más común es cuando las fallas siguen una **distribución exponencial** (típica en sistemas con tasa de falla constante. **Ejemplos:** sensores electrónicos, válvulas solenoides, sistemas redundantes.

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Donde:

$R(t)$ confiabilidad en el tiempo (t), probabilidad de no fallar.

λ : tasa de falla (falla por unidad de tiempo), frecuencia de fallas.

t : tiempo de operación.

Relación con el MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas)
en sistemas con tasa de falla constante



$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

$$R(t) = e^{-\frac{t}{MTBF}}$$

Ejemplo:

Una bomba centrífuga tiene un **MTBF = 200 horas**.

Se quiere conocer la probabilidad de que funcione sin fallar durante **100 horas**.

$$R(100) = e^{-\frac{100}{200}} = e^{-0.5} = 0.6065$$

Interpretación:

La bomba tiene un **60,6% de probabilidad** de operar sin fallas durante 100 horas.

Distribución Exponencial Supone que la tasa de falla (λ) es constante en el tiempo. la probabilidad de fallar **no depende de la edad del equipo**.

Se usa para *sistemas electrónicos, componentes sin desgaste o cuando no hay evidencia de degradación*.

- ✓ Los equipos no fallan siempre de la misma manera ni por las mismas causas.
✓
Las fallas pueden ocurrir por *envejecimiento, defectos iniciales o factores aleatorios*, y cada situación tiene un patrón distinto.
- ✓ Las distribuciones estadísticas permiten modelar esos distintos comportamientos del tiempo hasta la falla.

Si el equipo presenta una tasa de **fallas variable** (por envejecimiento, desgaste, etc.), se utilizan otras distribuciones:

Weibull: la más usada en confiabilidad industrial. (bombas, motores, rodamientos, compresores).

Lognormal o exponencial modificada: para análisis más detallados.

Distribución Weibull

Es más versátil y permite modelar distintos tipos de comportamiento de fallas mediante el parámetro β (beta).

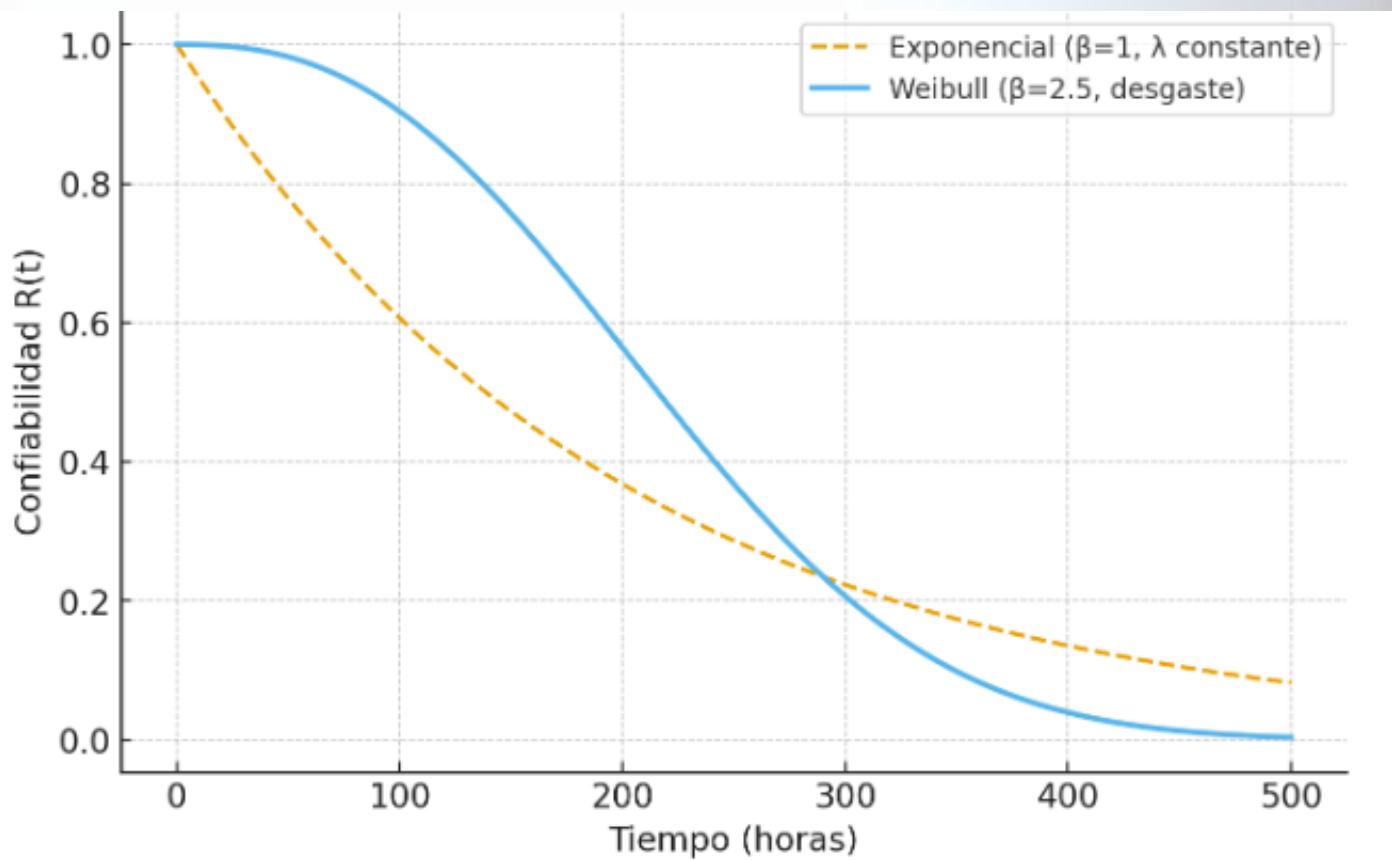
$$R(t) = e^{-(\frac{t}{\eta})^\beta}$$

donde:

- η : vida característica (tiempo en el que el 63,2% de las unidades fallan).
- β : forma de la curva (define el tipo de fallas).

| Valor de β | Tipo de falla | Etapa del ciclo de vida | Ejemplo |
|------------------|-------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| $\beta < 1$ | Fallas tempranas (infantiles) | Inicio de vida útil | Errores de fabricación |
| $\beta = 1$ | Tasa de falla constante | Vida útil estable | Equipos electrónicos |
| $\beta > 1$ | Fallas por desgaste | Fase final de vida útil | Bombas, motores, rodamientos |

Comparación de curvas de confiabilidad $R(t)$



La **línea discontinua (exponencial)** muestra una **tasa de falla constante**: la probabilidad de fallar no depende del tiempo.

La **curva Weibull ($\beta = 2.5$)** desciende más rápido a medida que pasa el tiempo, indicando **fallas por desgaste o envejecimiento**: cuanto más viejo el equipo, **mayor probabilidad de fallar**.

Otras medidas para la confiabilidad

La probabilidad es la **medida clásica** para valorar la confiabilidad. Sin embargo, existen muchas otras medidas utilizadas extensamente, por lo cual, “confiabilidad” es un término genérico que describe todas estas medidas sin que necesariamente estén relacionadas con la probabilidad.

| Índice de confiabilidad | Definición | Ejemplo |
|------------------------------|---|--------------------|
| Vida media | Tiempo esperado para que ocurra una falla en un componente no reparable | 10000 horas |
| Frecuencia de fallas por año | Número de fallas esperadas por año | 0.1 fallas/año |
| Indisponibilidad | Número esperado de horas de indisponibilidad por año | 20 horas/año |
| Pérdida de carga | Valor esperado de carga no atendida por año | 180.2 kW |
| Tiempo medio de reparación | Tiempo medio esperado para cada reparación | 4 horas/reparación |
| LOLE | Número esperado de horas por año en que no se podrá atender la demanda | 0.1 horas/año |

Entidades que regulan la confiabilidad

A nivel de componentes, la confiabilidad está regulada por las normas técnicas que cubren su diseño, fabricación y operación (Entorno de aplicación, rangos de uso). Algunos ejemplos son:

| Entidad | Sigla | Rol principal | Normas / Publicaciones destacadas |
|---|--------------------|---|---|
| International Electrotechnical Commission | IEC | Organiza normas técnicas internacionales sobre confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de equipos eléctricos y electrónicos. | IEC 60300 (gestión de confiabilidad), IEC 61703 (disponibilidad), IEC 60812 (AMFE/FMEA), IEC 61078 (análisis de confiabilidad por bloques). |
| International Organization for Standardization | ISO | Desarrolla estándares globales para sistemas de gestión de calidad, mantenimiento y confiabilidad. | ISO 14224 (recolección y análisis de datos de confiabilidad y mantenimiento), ISO 20815 (industrias del petróleo y gas), ISO 55000 (gestión de activos). |
| Institute of Electrical and Electronics Engineers | IEEE | Establece normas de confiabilidad para sistemas eléctricos, electrónicos e informáticos. | IEEE Std 1413 (modelos de confiabilidad), IEEE 1332 (programas de confiabilidad). |
| American Society for Quality | ASQ | Promueve metodologías de calidad y confiabilidad; certifica profesionales en ingeniería de confiabilidad (CRE). | Manuales de Reliability Engineering , guías de análisis estadístico y Six Sigma. |
| American Society for Testing and Materials | ASTM International | Define métodos de ensayo y estándares para materiales, componentes y su desempeño confiable. | ASTM E1169 , ASTM E739 , ASTM E1877 (métodos de prueba y análisis de vida). |
| SAE International (Society of Automotive Engineers) | SAE | Publica normas para confiabilidad y mantenibilidad en la industria automotriz y aeroespacial. | SAE ARP5580 (análisis de confiabilidad), SAE JA1000 (sistemas de confiabilidad). |
| MIL-STD (U.S. Department of Defense) | — | Conjunto de normas militares de referencia mundial para pruebas y modelado de confiabilidad. | MIL-HDBK-217F (predicción de fallas electrónicas), MIL-STD-785 , MIL-STD-1629A (FMECA). |

En Europa

| Entidad | Ámbito | Norma / Aplicación |
|----------------------------|--------------------------------|---|
| EN (European Norms) | Unión Europea | Integra normas ISO/IEC a nivel europeo. |
| CENELEC | Europa eléctrica y electrónica | Homologa normas IEC. |
| DNV GL | Energía, petróleo y marítimo | Publica estándares de confiabilidad y riesgo operacional. |

En Argentina

| Entidad | Rol | Relación |
|--|--|--|
| IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación) | Representa a ISO e IEC en Argentina. Certifica normas ISO 9001, 14224, 55000, etc. | Promueve normas nacionales equivalentes a ISO/IEC sobre mantenimiento y confiabilidad. |
| INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial) | Evalúa desempeño, calidad y confiabilidad de equipos industriales. | Aplica metodologías RAM en programas de mejora tecnológica e industrial. |
| COPIME / UTN / CONEAU | Instituciones técnicas y académicas | Desarrollan estudios de confiabilidad en ingeniería industrial y mantenimiento. |

Disponibilidad

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Confiabilidad}}{\text{Confiabilidad} + \text{Mantenibilidad}}$$

Es un **índicador de desempeño** de un **equipo o sistema** que nos dice **qué tan frecuentemente** está **operativo y listo** para ser usado cuando se necesita.

• En otras palabras: **¿qué porcentaje del tiempo el equipo está funcionando correctamente respecto al tiempo que debería estar disponible?**.

Es un factor clave junto con la **confiabilidad** (qué tan probable es que el equipo funcione sin fallas) y la **mantenibilidad** (qué tan rápido se puede reparar).

La **disponibilidad (A)** se calcula generalmente como:

$$A = \frac{T_{\text{operativo}}}{T_{\text{operativo}} + T_{\text{inactivo}}} \times 100$$

Donde:

- $T_{\text{operativo}}$ = tiempo que el equipo estuvo funcionando correctamente.
- T_{inactivo} = tiempo que el equipo estuvo fuera de servicio (fallas, reparaciones, mantenimientos).

Tiempo Medio Entre Fallas MTBF

Tiempo Medio de Reparación MTTR

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\%$$

Ejemplo:

Supongamos que una máquina está disponible para trabajar **100 horas** en un período determinado. Durante ese tiempo:

- Funciona correctamente: **90 horas**
- Está detenida por fallas o mantenimiento: **10 horas**

$$A = \frac{90}{90 + 10} \times 100 = \frac{90}{100} \times 100 = 90\%$$

Esto significa que la máquina estuvo **disponible el 90% del tiempo**.

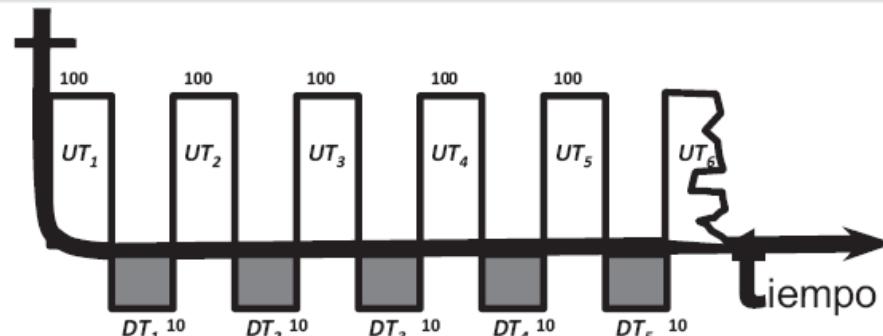
Disponibilidad alta → el equipo está listo la mayor parte del tiempo.

Disponibilidad baja → hay muchas interrupciones, fallas o mantenimientos prolongados.

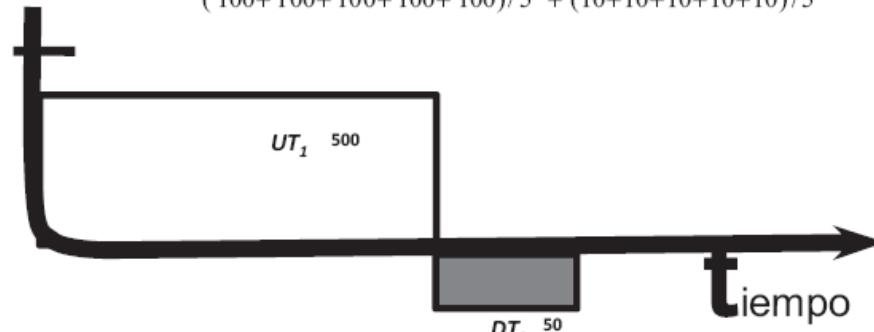
Dependiendo del análisis que se quiera realizar, la disponibilidad también puede ajustarse para considerar **tiempos de mantenimiento planificado** o solo fallas inesperadas.

El cálculo mediante los modelos de confiabilidad y mantenibilidad al utilizar distribuciones, presenta una gran ventaja frente al modelo puntual. Cuando el cálculo del MTBF o del MTTR se realiza con el método puntual de promedios, se tiene la desventaja de que varias curvas de confiabilidad o de mantenibilidad pueden entregar los mismos valores de MTTF o MTTR, lo cual le resta credibilidad al método puntual. Es decir, se puede obtener el mismo tiempo promedio entre fallas o de reparaciones para casos totalmente diferentes o antagónicos.

Dos casos con igual disponibilidad (método puntual) y comportamientos antagónicos



$$\text{Disponibilidad caso superior} = \frac{(100+100+100+100+100)/5}{(100+100+100+100+100)/5 + (10+10+10+10+10)/5} = 90.90\%$$



$$\text{Disponibilidad caso inferior} = \frac{(500)/1}{(500)/1 + (50)/1} = 90.90\%$$

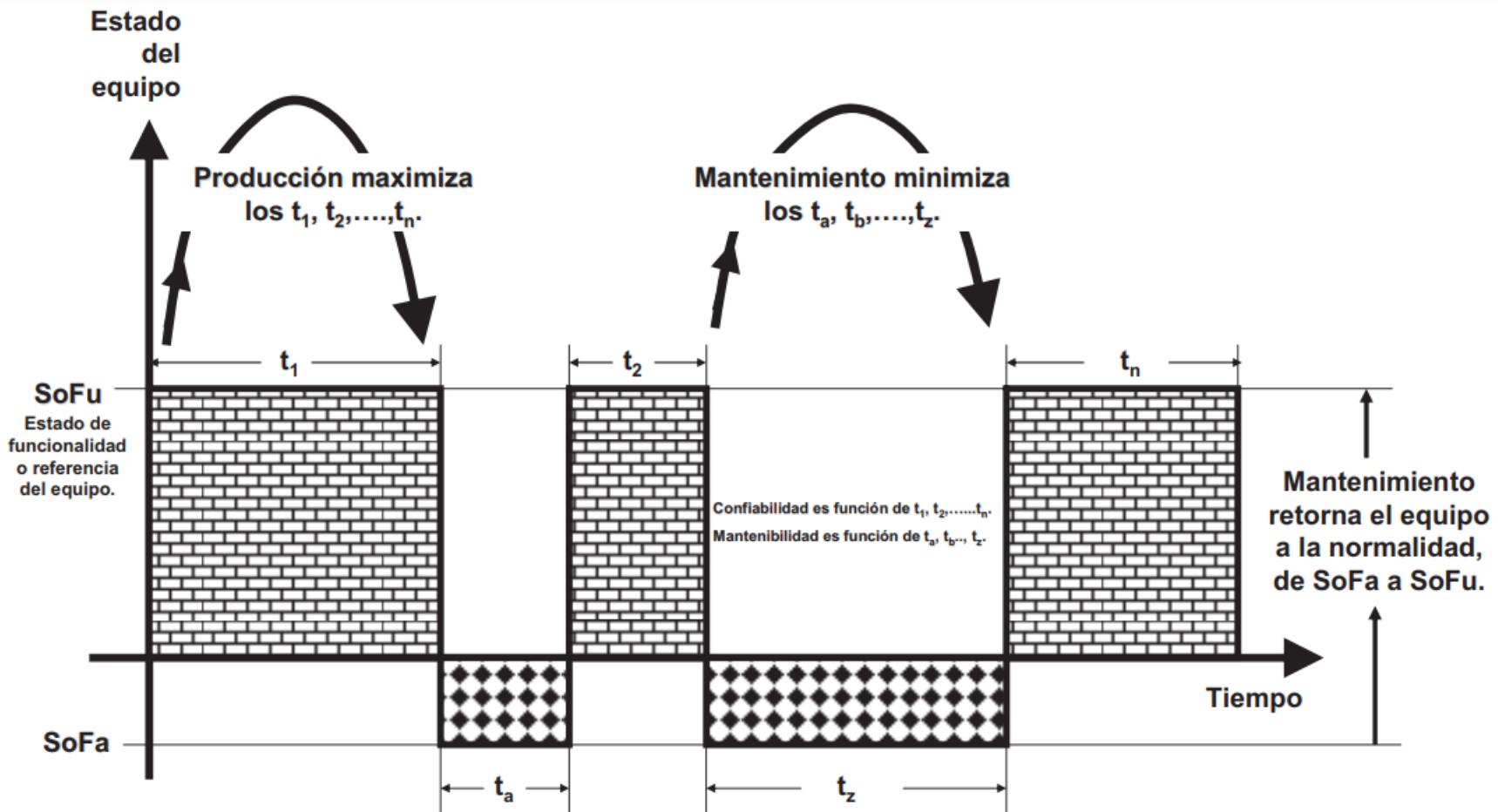
MANTENIBILIDAD (REPARACIONES)

Es la **probabilidad de que un elemento**, máquina o dispositivo, **puedan regresar** nuevamente a su **estado de funcionamiento normal** después de una avería, falla o interrupción productiva (funcional o de servicio), mediante una reparación que implica realizar unas tareas de mantenimiento, para eliminar las causas inmediatas que generan la interrupción.

La mantenibilidad se asocia a la facilidad con que un elemento o dispositivo se puede restaurar a sus condiciones de funcionalidad establecidas, lo cual implica **tener en cuenta todas las características** y hechos previos ocurridos antes de alcanzar ese estado de normalidad, tales como: diseño, montaje, operación, habilidades de los operarios, las modificaciones realizadas, las reparaciones anteriores, la capacidad de operación, la confiabilidad, los mantenimientos realizados a lo largo y ancho de la vida útil del equipo, el entorno, la legislación pertinente, la calidad de los repuestos, la limpieza, el impacto ambiental que genera, etc., que influyen directamente en el grado de mantenibilidad de un equipo.

Mide **qué tan fácil, rápido y eficazmente se puede realizar el mantenimiento** (correctivo o preventivo) de un equipo.

Descripción de CMD en tiempos, funciones y responsabilidades



Curva acumulada de probabilidad de reparación $M(t)$

Indica la probabilidad de que la función del sistema se recupere y el equipo se repare dentro de un tiempo definido t antes de un tiempo especificado total T .

$M(t)$ es la función de **mantenibilidad acumulada**, y se define como:

$$M(t) = P(T_r \leq t)$$

donde:

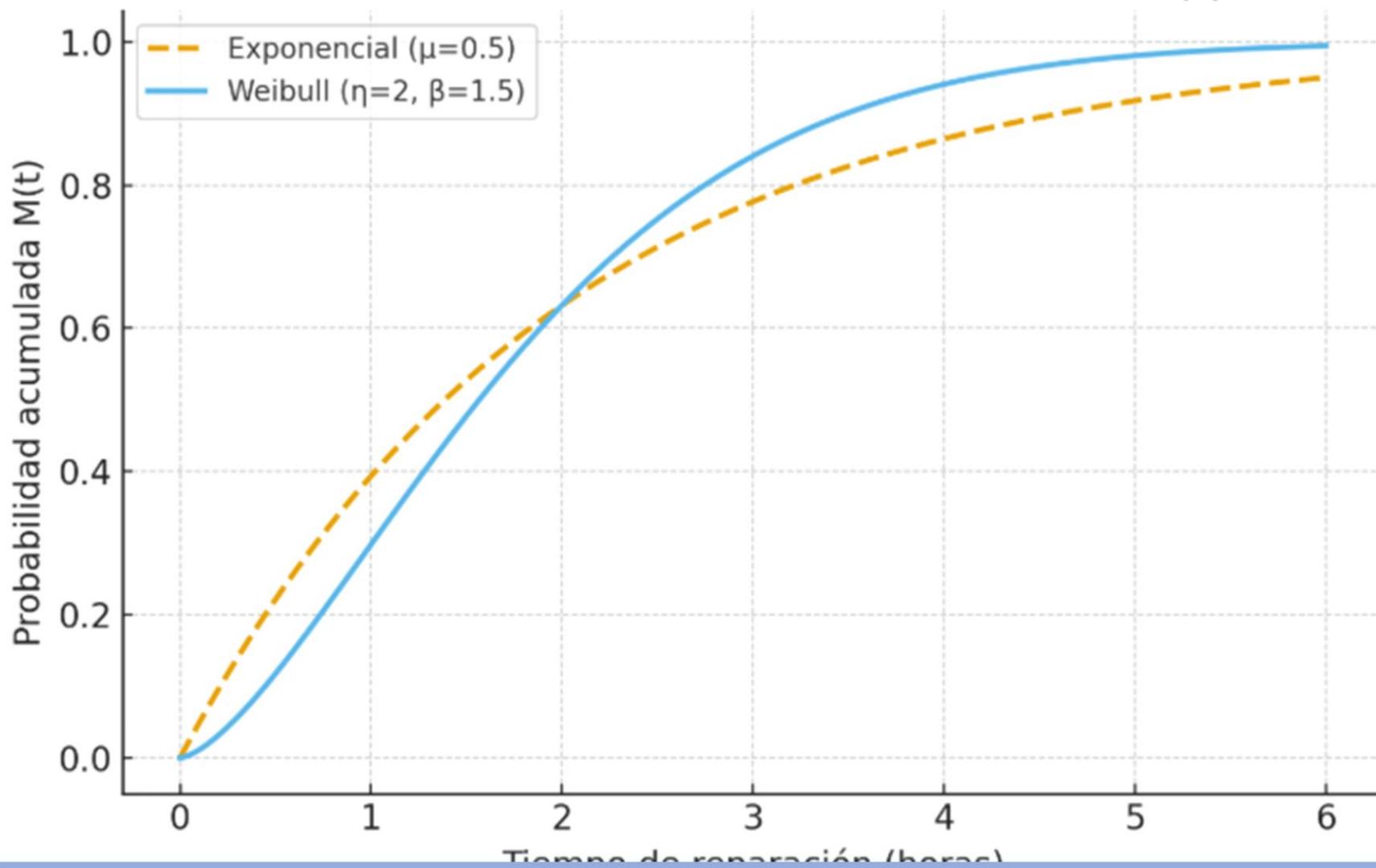
- T_r = tiempo de reparación (variable aleatoria).
- $M(t)$ = probabilidad de que una reparación **se complete antes o igual a un tiempo t** .

En el eje x (tiempo) se representa cuánto tiempo lleva la reparación.

En el eje y (probabilidad acumulada) se muestra la probabilidad de haber completado la reparación antes de ese tiempo.

La curva comienza en 0 y se acerca asintóticamente a 1, es decir, con suficiente tiempo todas las reparaciones se completan.

Curvas de Mantenibilidad Acumulada $M(t)$



Reparaciones con tasa constante (Distribución exponencial)

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

donde $\mu = \frac{1}{MTTR}$ es la tasa de reparación.

MTTR: Tiempo Medio de Reparación

Ejemplo:

Si $MTTR = 2$ h, entonces $\mu = 0.5$ reparaciones/h.

$$M(t) = 1 - e^{-0.5t}$$

Interpretación:

- A las 2 h $\rightarrow M(2) = 1 - e^{-1} = 0.632$
 \rightarrow El 63,2% de las reparaciones se completan en menos de 2 horas.

Reparaciones variables o complejas (Distribución Weibull)

$$M(t) = 1 - e^{-(t/\eta)^\beta}$$

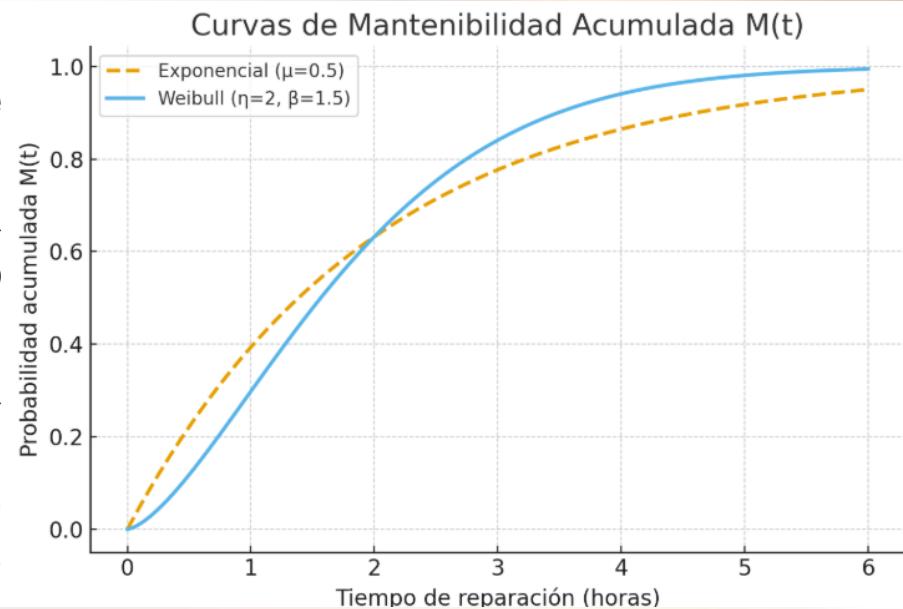
donde:

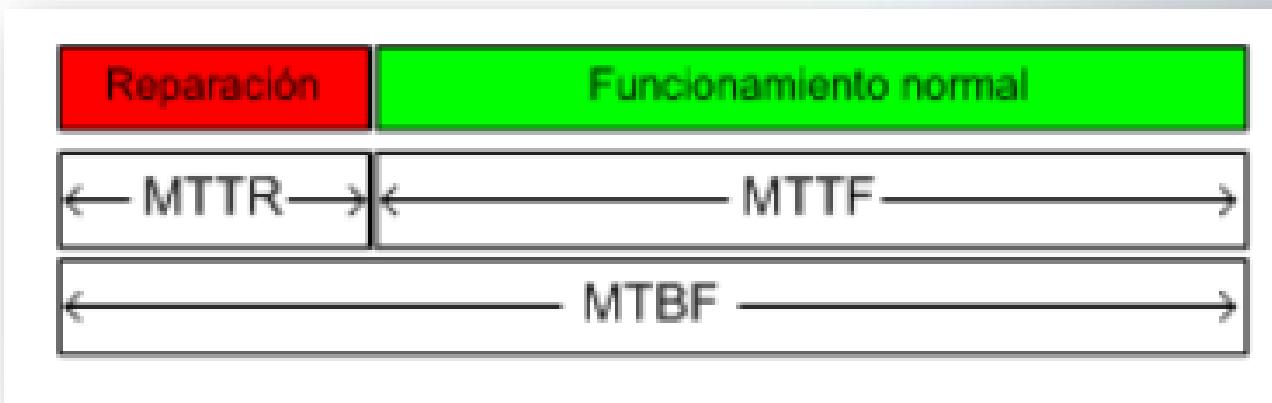
- η : tiempo característico de reparación.
- β : forma (si $\beta > 1$, las reparaciones se aceleran con el tiempo).

Curva exponencial (línea discontinua):

representa un sistema con tasa de reparación constante, donde las probabilidades de completar una reparación por unidad de tiempo no cambian.

Curva Weibull (línea continua): muestra una probabilidad de reparación creciente con el tiempo, típica en procesos donde las reparaciones se aceleran a medida que se acumula experiencia o se optimizan procedimientos.





MTTF: Tiempo medio de funcionamiento hasta la falla.

MTTR: Tiempo medio de reparación.

MTBF: Tiempo medio entre fallas.

MTBM: Tiempo medio entre mantenimiento, siendo TBM, tiempo entre mantenimiento, el que transcurre entre dos mantenimientos sucesivos cualquiera.

Tasa de falla:

$$\lambda = \frac{1}{MTTF}$$

Confiabilidad:

Tasa de reparación:

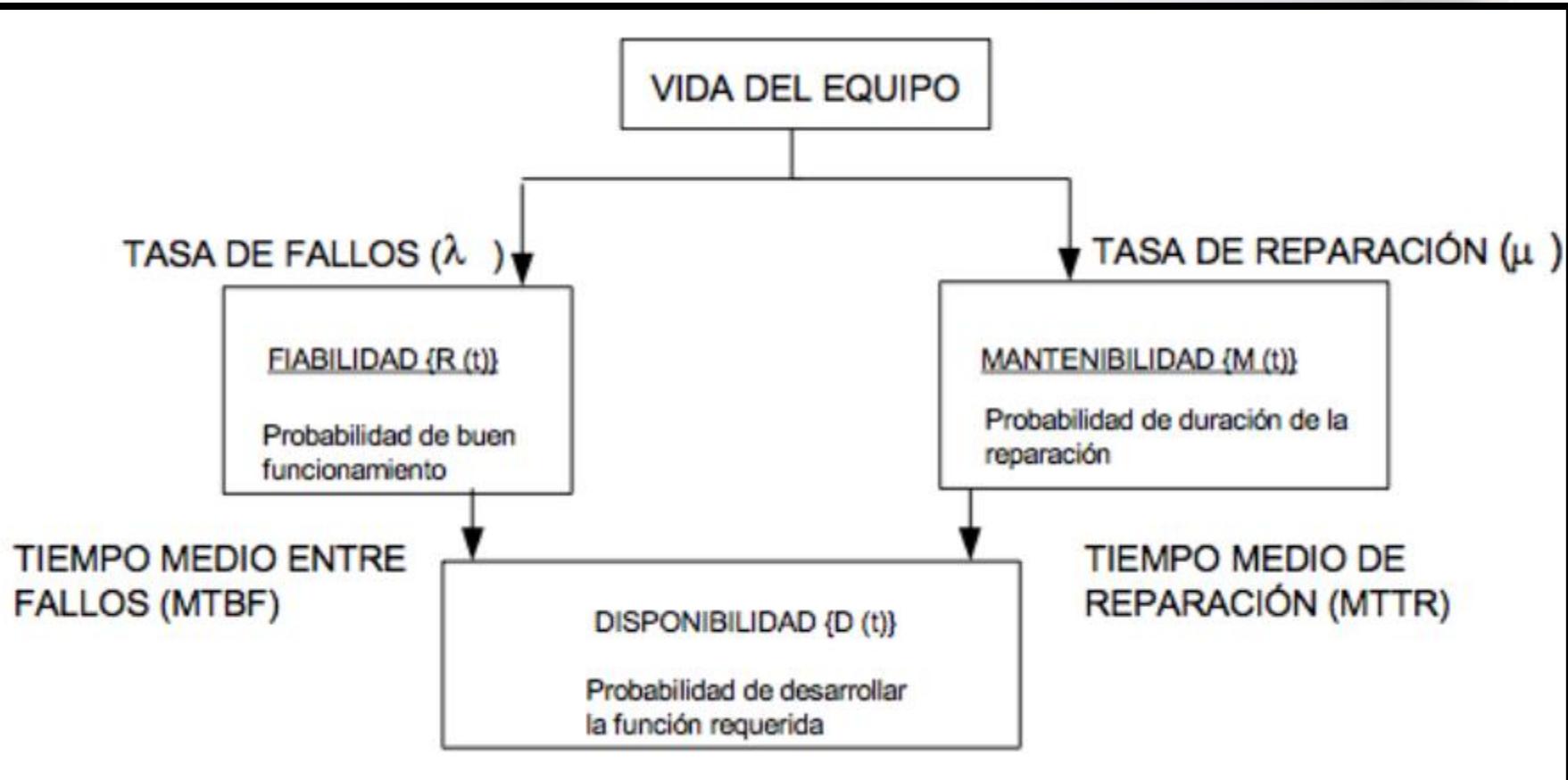
$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

$$R = 1 - \lambda \cdot T$$

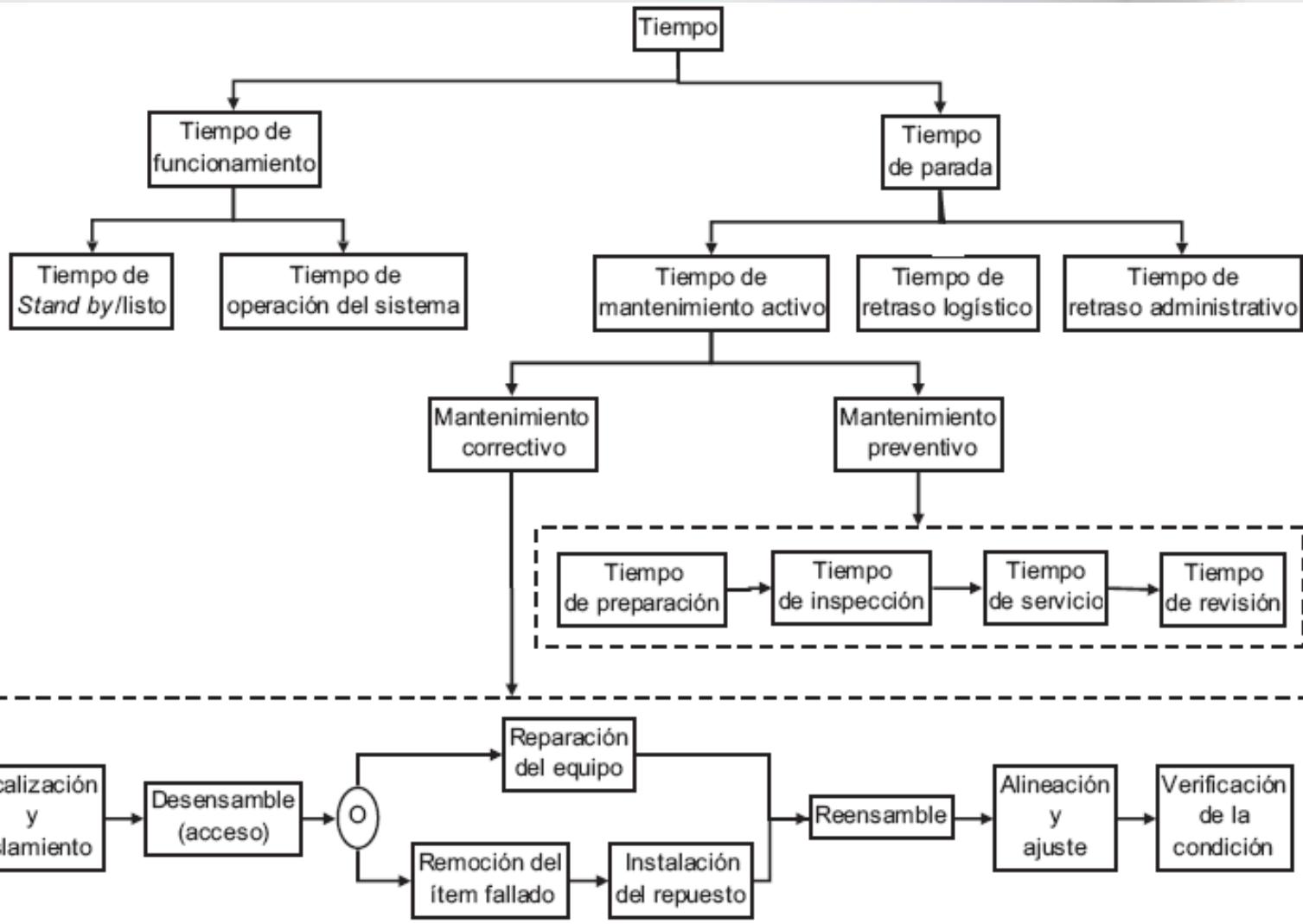
Disponibilidad:

$$A = \frac{MTTF}{MTBF}$$

Donde T es el período entre inspección.



Ciclo general de actividades de reparaciones y/o mantenimientos planeados



Fiabilidad e infiabilidad

Se refiere a la permanencia de la Calidad de los productos o servicios a lo largo del tiempo. Un aparato o componente **es fiable** si desarrolla adecuadamente su labor a lo largo de su vida útil. Un aparato fiable funcionará correctamente durante su vida, mientras que otro que no lo sea dará numerosos problemas.

El estudio de la Calidad, en una primera etapa, se limita a garantizar que el producto sale de fábrica en buenas condiciones. **La Fiabilidad intenta garantizar que el producto permanecerá en buenas condiciones durante un periodo razonable de tiempo.**

La competencia en los mercados es tal, que la salida de productos o servicios de baja Calidad/Fiabilidad es cada vez más difícil y únicamente sobreviven a largo plazo aquellas empresas con una excelente imagen de Calidad y Fiabilidad. Los costes de no calidad o no fiabilidad son cada vez mayores.

Existen sectores en los que la baja fiabilidad es inaceptable por motivos de seguridad: Aeronáutica, Energía, Sanidad, Militar etc.

En fiabilidad el problema fundamental es, **estimar la vida de un producto o sistema y la probabilidad de que se produzca un fallo** en cada momento.

En Estadística que se denomina Análisis de Datos de Supervivencia (A.D.S.). Es un conjunto de métodos estadísticos diseñados para estudiar **el tiempo que transcurre hasta que ocurre un evento** de interés.

Fallo (Failure)

Existen distintas definiciones del concepto de fallo entre las cuales cabe destacar las siguientes:

- ✓ “La incapacidad de un sistema o componente para llevar a cabo sus requerimientos operacionales”.
- ✓ “Pérdida de funcionalidad o mal funcionamiento de un sistema o parte de éste”.
- ✓ “El fallo es la incapacidad de un sistema para realizar su función dentro de los límites correspondientes impuestos”.

Tipos de fallos

- ✓ **Sistemáticos:** Debido a defectos en el diseño, fabricación, instalación, y mantenimiento. Los productos sometidos a las mismas condiciones fallan de manera consistente (el software siempre falla de una manera sistemática). Los fallos sistemáticos pueden surgir de: concepto (una "mala idea"), especificación ("mala construcción"), diseño o fabricación, uso y mantenimiento, o de cambios.
- ✓ **Aleatorio:** Debidos a causas físicas (p.ej. variedad de modos de degradación). Son el resultado de las decisiones de diseño.
- ✓ **Desgaste (wear out):** Clase específica de fallos surgidos a consecuencia del desgaste del componente o sistema dentro de su tiempo limitado de vida.
- ✓ **Humanos:** Debidos a (in)-acciones de operadores, personal de mantenimiento, etc.

Análisis del fallo

- ✓ **Inductivo:** Se inicia a partir de un evento conocido y que trabaja hacia delante para investigar los posibles efectos y resultados. Este es el tipo de análisis realizado en el análisis FMECA/FMEA.
- ✓ **Deductivo:** Se inicia a partir de un resultado conocido (no deseado) y trabaja hacia atrás para identificar los grupos de posibles causas. Este es el tipo de análisis realizado en el análisis FTA.
- ✓ **Predictivo:** Se realiza desde el concepto hasta el diseño, el cual es utilizado para mostrar cómo el sistema puede comportarse, y por tanto, guiar en el desarrollo. Este es el tipo de análisis realizado en el árbol de sucesos.
- ✓ **Confirmatorio:** Se realiza a un artefacto finalizado (elemento, componente o sistema), utilizado para la recolección de evidencias de consecución de objetivos RAM. Esta es normalmente la información entregada en un análisis de seguridad.

Causas de fallo

Se clasifican en los siguientes tipos:

Evento Básico: No se requiere de ninguna descomposición en sub-eventos.

Defecto del Componente.

1. Fallo Primario: Fallo de componente simple (un evento básico).
2. Fallo Secundario: El componente falla como resultado de una influencia externa.
3. Fallo de Instrucción: El componente recibe un signo o señal de control incorrecta.

Defecto de Sistema: Fallo no atribuible a un solo componente.

Tasa de fallo (Tasa de riesgo, Hazard function, Función de riesgo)

La **tasa de fallo** $h(t)$ es la probabilidad instantánea de que un equipo falle **en el próximo pequeño intervalo de tiempo**, dado que **funciona hasta t**.

donde:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

- $f(t)$ = densidad del tiempo a falla
- $R(t) = P(T > t)$ = confiabilidad (supervivencia)

Si $h(t)$ es **alto** → **mayor riesgo** de que el equipo falle pronto.

Si $h(t)$ es **bajo** → equipo con **baja probabilidad** de falla inmediata.

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Pr(t \leq T \leq t + \Delta t \mid T \geq t)}{\Delta t}$$

La evolución de la tasa instantánea de fallo, es decir la probabilidad de que un elemento que no ha fallado todavía en el instante t , falle en el instante siguiente t , es de suma importancia en el estudio de la fiabilidad de componentes, o en general en el análisis de cualquier fenómeno evolutivo.

“La tendencia del equipo a fallar en este preciso momento si llegó funcionando hasta aquí.”

Función de densidad $f(t)$: probabilidad instantánea de falla en t (si falla en intervalo pequeño).

Función de supervivencia $R(t) = P(T > t)$: probabilidad de que el equipo sobreviva más allá de t .

Tasa de fallo (hazard) $h(t)$:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad \text{o, equivalentemente} \quad h(t) = -\frac{d}{dt} \ln R(t).$$

Interpretación: probabilidad instantánea de fallo en t dado que el equipo ha llegado a t .

Modelo exponencial (tasa de fallo constante) los tiempos hasta falla siguen una distribución exponencial.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad R(t) = e^{-\lambda t},$$

y la tasa de fallo es constante:

$$h(t) = \lambda \quad (\text{constante en } t).$$

Datos (ejemplo): tiempos hasta falla observados (horas): 10, 12, 8, 15, 9.

Paso 1 — calcular la media (tiempo medio hasta la falla):

$$\bar{t} = \frac{10 + 12 + 8 + 15 + 9}{5} = \frac{54}{5} = 10,8 \text{ horas.}$$

Paso 2 — estimador de λ (MLE para exponencial):

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\bar{t}} = \frac{1}{10,8} = 0,0925926 \text{ (por hora).}$$

Paso 3 — tasa de fallo $h(t)$:

$$h(t) = \hat{\lambda} \approx 0,0926 \text{ (fallas por hora).}$$

Interpretación: dado que el equipo ha llegado a cualquier tiempo t , la probabilidad instantánea de fallar en la siguiente hora es $\approx 9.26\%$.

Modelo Weibull (tasa de fallo variable, más general)

Weibull con parámetros forma β y escala η :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-(t/\eta)^\beta}, \quad R(t) = e^{-(t/\eta)^\beta}.$$

La tasa de fallo es

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1}.$$

- Si $\beta < 1$: tasa decreciente (fallos tempranos).
- Si $\beta = 1$: se reduce al caso exponencial (tasa constante).
- Si $\beta > 1$: tasa creciente (desgaste).

Ejemplo numérico (parámetros supuestos): $\beta = 2$ (desgaste creciente), $\eta = 1000$ horas.

Calculemos $h(t)$ en varios instantes.

Fórmula simplificada aquí:

$$h(t) = \frac{2}{1000} \left(\frac{t}{1000} \right)^1 = \frac{2t}{10^6} = 0,000002 t.$$

- Para $t = 200$ h: $h(200) = 0,000002 \cdot 200 = 0,0004$ (por hora) $\rightarrow 0.04\%$ por hora.
- Para $t = 500$ h: $h(500) = 0,000002 \cdot 500 = 0,001$ $\rightarrow 0.1\%$ por hora.
- Para $t = 1000$ h: $h(1000) = 0,000002 \cdot 1000 = 0,002 \rightarrow 0.2\%$ por hora.

Interpretación: la probabilidad instantánea de falla aumenta linealmente con el tiempo (porque $\beta = 2$). A $t = 1000$ h el riesgo instantáneo es cinco veces el de $t = 200$ h.

Tipos de funciones de fallo

Existen funciones constantes, crecientes o decrecientes dependiendo del tipo de fenómeno estudiado.

Los distintos procesos se van a definir según su tasa de fallos sea:

- ✓ **Creciente (IFR o Increasing Failure Rate)**
- ✓ **Decreciente (DFR o Decreasing Failure Rate)**
- ✓ **Constante (CFR)**

| Forma del riesgo | Significa | Mecanismo típico de falla |
|--|--|------------------------------------|
|  Decreciente | Riesgo disminuye con el tiempo | "falla inicial" (infant mortality) |
|  Constante | Riesgo siempre igual | Falla aleatoria (Exponencial) |
|  Creciente | Riesgo aumenta con el desgaste | Envejecimiento, fatiga |
|   Bañera (Bathtub curve) | tres fases: inicio, vida útil, desgaste | Vida completa del producto |

| Característica | $R(t)$ – Confiabilidad | $h(t)$ – Tasa de fallo / Función de riesgo |
|---------------------------------|--|---|
| ¿Qué mide? | Probabilidad de que el equipo sigua funcionando hasta t | Probabilidad instantánea de fallar en t , dado que está funcionando hasta t |
| Tipo de medida | Acumulada (hasta ese tiempo) | Instantánea (en ese momento) |
| ¿Aumenta o disminuye? | Siempre disminuye o se mantiene | Puede subir, bajar o ser constante |
| Interpretación en mantenimiento | ¿Qué tan confiable es el equipo? | ¿Se está volviendo más riesgoso seguir operándolo? |

Ejemplo: Si un rodamiento tiene

$$\bullet R(5000)=0.7 R(5000)=0.7 R(5000)=0.7:$$

→ 70% de probabilidad de que llegue a 5000 h sin fallar.

$$\bullet h(5000)=0.0003 h(5000)=0.0003 h(5000)=0.0003 \text{ por hora:}$$

→ Si llegó funcionando a 5000 h, tiene 0.03% de probabilidad de fallar en la próxima hora.

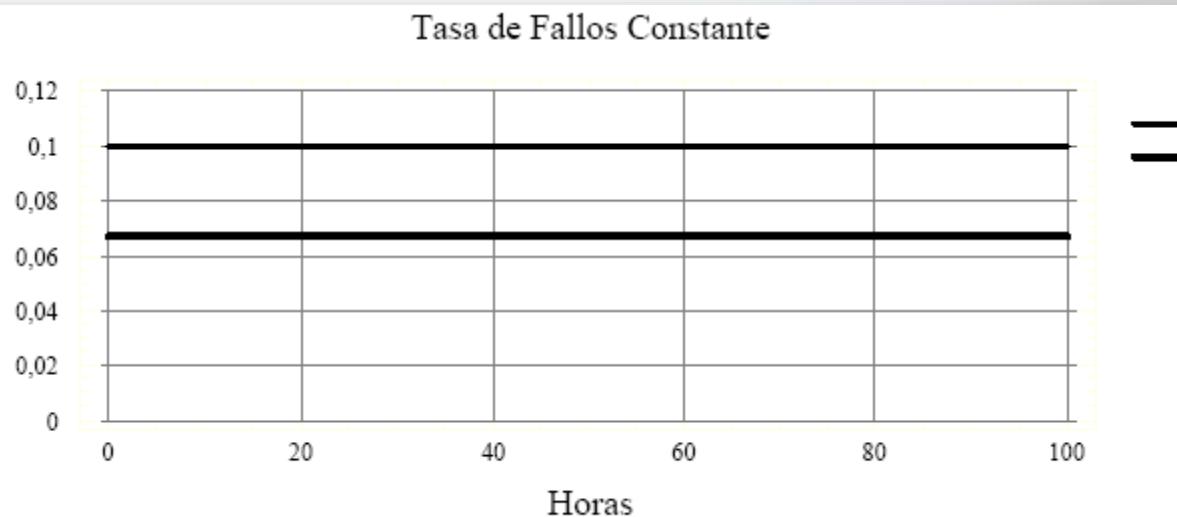
Uno mide supervivencia futura. El otro mide riesgo actual.

| Si $h(t)$ es... | ¿Qué decisión de mantenimiento se sugiere? |
|-----------------|---|
| Creciente | Programar mantenimiento preventivo o reemplazo |
| Constante | Mantenimiento correctivo o inspecciones básicas |
| Decreciente | Control de calidad, eliminar fallas iniciales |

Mientras tanto, $R(t)$ ayuda a:

- Estimar vida útil
- Definir garantías
- Evaluar proveedores
- Calcular MTBF

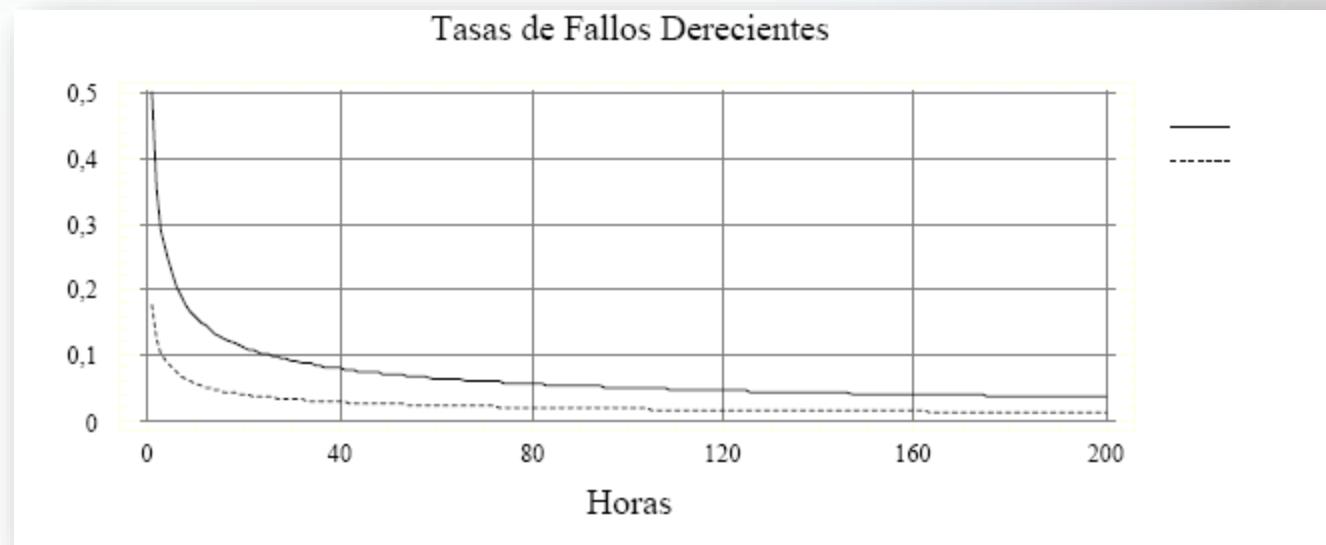
Tasa de fallos constante: Indica que la probabilidad de fallo instantáneo es la misma en cualquier momento y consecuentemente el proceso no tiene memoria, ya que la posibilidad de fallo estando funcionando, es idéntica en cualquier momento de la vida del componente.



Por ejemplo si se tienen componentes electrónicos cuya vida es muy larga instalados en sistemas que cuentan con elementos mecánicos de vida útil muy inferior, el modelo de tasa de fallos constante es perfectamente adecuado.

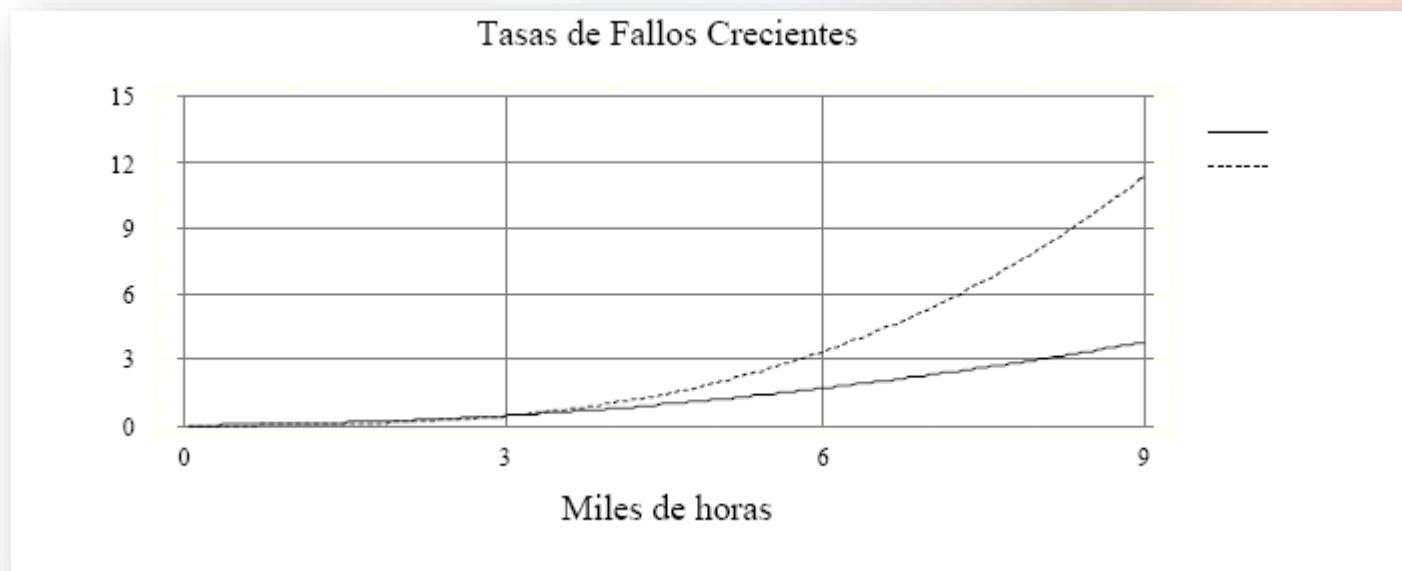
Tasa de fallos decreciente: Se observa en productos cuya probabilidad de fallo es menor cuando aumenta el tiempo de supervivencia.

Esto aparece a menudo en cualquier tipo de materiales: al principio de su funcionamiento la probabilidad de fallo es alta debido a la existencia de posibles defectos ocultos.



Si no fallan en las primeras 80 horas, la posibilidad de fallo se reduce notablemente en ambos casos. El ensayo bajo stress permitir eliminar aquellos componentes que fallen al principio. De esta manera la empresa evita introducir en el mercado piezas defectuosas.

Tasa de fallos creciente: Surge, en la mayoría de los casos por desgastes y fatigas, es decir por un proceso de envejecimiento. La tasa de fallos creciente indica que la probabilidad de fallo inmediato, teniendo en cuenta que el componente está funcionando, se incrementa a medida que pasa el tiempo. Evidentemente a medida que un componente se hace más viejo, su tasa de fallos tenderá a crecer.



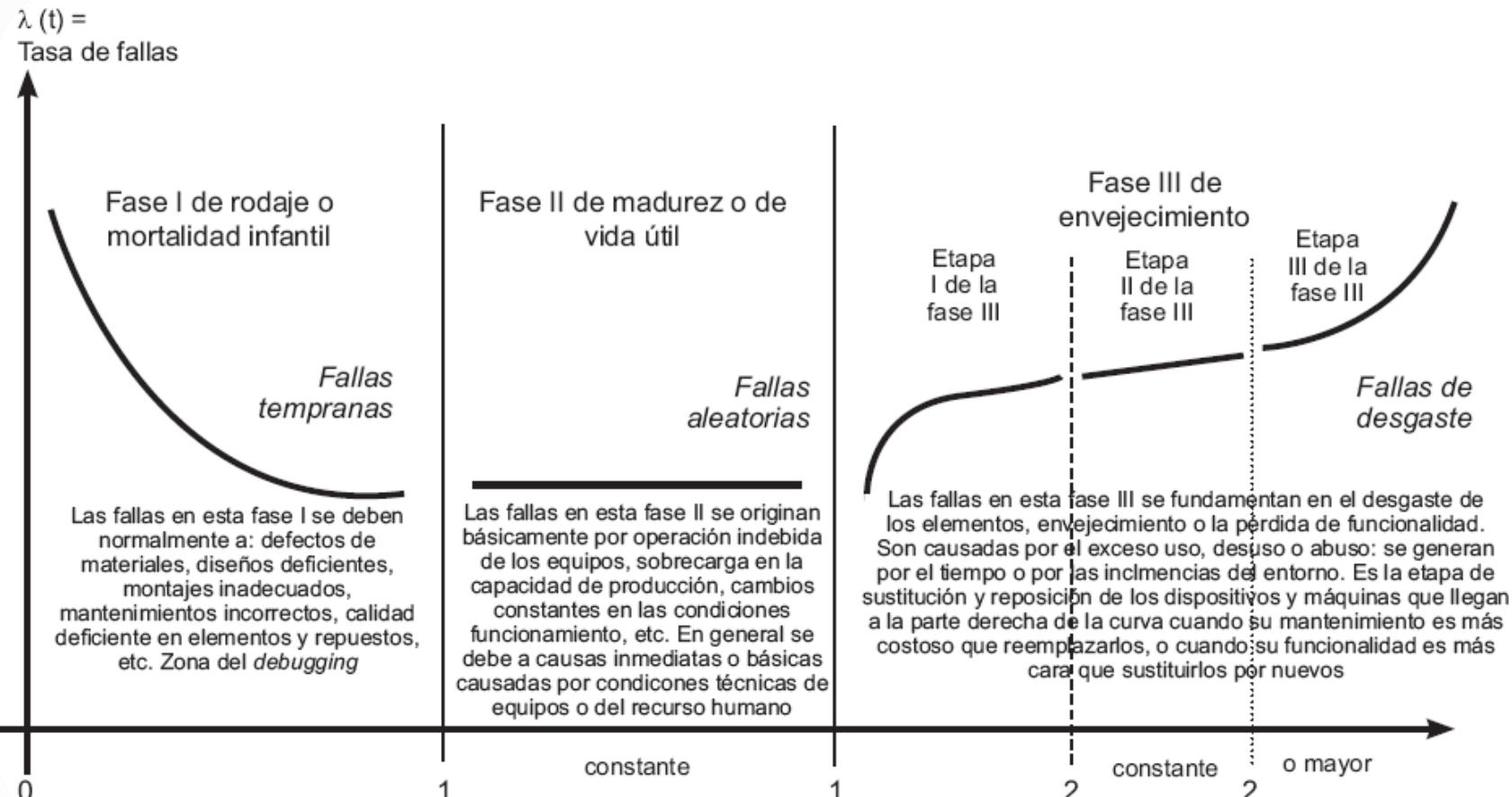
Curva Davies (Curva de la bañera)

(Bathtub Curve) representa la probabilidad de fallo instantáneo de un elemento que se comporta inicialmente de forma decreciente (a esta zona se le denomina de mortalidad infantil), en su vida media con una probabilidad de fallo casi constante (zona de vida útil), y finalmente con probabilidad de fallo que aumenta con la edad (zona de deshecho, wearout).

Esta curva es adecuada para describir la vida humana: la probabilidad de fallo (muerte) instantánea es alta para los niños pequeños, disminuye en edades centrales y aumenta al alcanzarse edades elevadas.

Cuando la tasa de fallo del elemento responde a la curva de la bañera, es conveniente realizar un ensayo acelerado del mismo (en condiciones de stress) para que supere la zona de mortalidad infantil o de Burn-in.

Curva de la bañera o de Davies



Beta, factor de forma

que se obtiene por cálculo de la pendiente al darle forma lineal a la distribución de Weibull

Las diferentes acciones que se deciden sobre las tareas que se deben realizar por parte de mantenimiento (y producción), dependen entre otros parámetros de la curva de la bañera o de Davies (Ebeling, 2005), donde se muestra la evolución en el tiempo frente a la tasa de fallas $\lambda(t)$ y el valor del parámetro de forma Beta del equipo que se evalúa.

De acuerdo con el valor del equipo para ese momento, se selecciona si las tareas de mantenimiento deben ser correctivas, modificativas, preventivas o predictivas, al tener en cuenta la fase en que se encuentre el elemento o sistema.

- ✓ El comportamiento de la tasa de fallas en la **fase I es decreciente**, en la medida en que pasa el tiempo, la probabilidad de que ocurra una falla disminuye. Las operaciones que se sugieren en esta fase son las de tipo **correctivo y modificativo**, en especial las primeras, dado que las fallas que aparecen habitualmente son diferentes.
- ✓ La **fase II** se caracteriza por fallas enmarcadas en origen técnico, ya sea de procedimientos humanos o de equipos. Las acciones que más se adaptan a esta etapa son de las **modificativas**, ya que al generarse por utilizaciones fuera del estándar (de equipos o de personas), se requiere modificar esos equipos y/o procesos, dentro de nuevos estándares, mediante técnicas modificativas, cuando las fallas son esporádicas o recurrentes; en el caso de ser fallas crónicas se actúa con FMECA y acciones modificativas.

- ✓ Durante la **fase III** se observa un incremento paulatino de la tasa de fallas en la medida en que aumenta el tiempo hacia la derecha. Las fallas que aparecen son conocidas y se empieza a tener experiencia y conocimiento sobre ellas, las cuales son debidas a los efectos del tiempo por causas de uso, abuso o desuso. En esta fase ya se pueden empezar a utilizar acciones **planeadas preventivas** ya que las fallas se conocen y se tiene algún control sobre ellas; es la etapa en que la ingeniería de confiabilidad comienza a ejercer dominio sobre el sistema; es decir, es la zona de ingeniería por excelencia.
- ✓ En la **etapa II de la fase III** se incrementa la tasa de fallas en forma constante con pendiente positiva en forma rectilínea. En esta sección se inicia la transición de **acciones preventivas hacia acciones predictivas** y el comportamiento de las fallas empieza a ser predecible.
- ✓ En la **zona III de la fase III** de envejecimiento puro, en que la **vida útil del elemento se acelera** y la tasa de fallas se incrementa aceleradamente. En esta etapa normalmente se estabiliza el uso de **acciones predictivas**, pero cuando éstas ya no mejoran la mantenibilidad de la máquina, se usa la reposición o la sustitución como única alternativa.

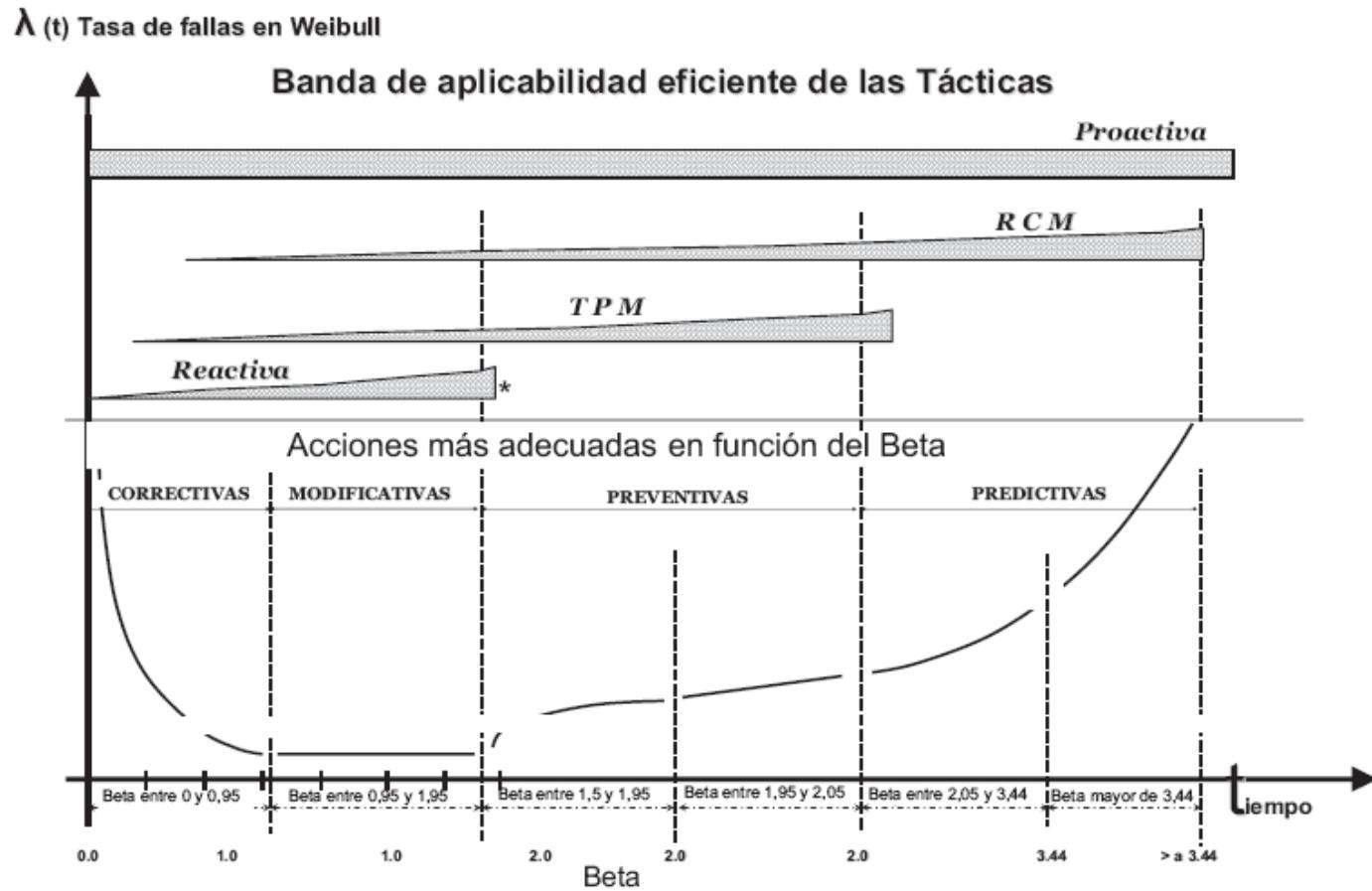
El indicador de confiabilidad Beta es una medida de dispersión del comportamiento de las fallas y es inverso a la duración promedio de ellas. En la fase I de la curva de Davies aparecen fallas minúsculas e intensas en tiempo, son impredecibles y de comportamiento atípico. En la fase II ya se empieza a tener cierto control sobre las fallas imprevistas y empiezan a estabilizarse en tiempo de duración. Normalmente, en la fase II las fallas intempestivas y desconocidas desaparecen. En la etapa I de la fase III ya las fallas se vuelven muy similares en tiempo y se conocen con antelación. En la zona II de la fase III la duración de las fallas tiende a estabilizarse. Y en la sección III de la fase III ocurren fallas totalmente predecibles y sus tiempos de duración se normalizan totalmente.

| Etapa | (beta) | Qué indica |
|---------------------|----------|---------------------------|
| Mortalidad infantil | (beta<1) | Tasa de fallo decreciente |
| Vida útil | (beta=1) | Tasa de fallo constante |
| Desgaste | (beta>1) | Tasa de fallo creciente |

| Equipo | Región de la Bañera |
|--------------------------------------|---------------------|
| Electrónica de control | Mortalidad infantil |
| Bombas, válvulas en operación normal | Vida útil |
| Rodamientos muy usados | Desgaste |

| Etapa | Tasa de fallo | Causa principal | Qué hacer en Mantenimiento |
|---------------------|--------------------|--|---|
| Mortalidad Infantil | Alta → Decreciente | Defectos de fabricación, errores de instalación, ajustes iniciales | Correcciones tempranas , selección de proveedores, pruebas iniciales (burn-in) |
| Vida Útil | Baja → Constante | Fallas aleatorias por causas externas | Mantenimiento correctivo + inspecciones mínimas |
| Desgaste | Creciente | Envejecimiento, fatiga, desgaste de piezas | Mantenimiento preventivo o reemplazo planificado |

Curva de Davies: Acciones y tácticas adecuadas, acorde al valor del Beta



Denota que la línea a medida que se vuelve más gruesa a la aplicación de la táctica es más eficiente, ya que se acomoda más a las características de las fallas y de su tasa.

Modelos matemáticos para estimación de la fiabilidad

Cuando se requiere desarrollar estrategias y acciones concretas de mantenimiento y producción, definitivamente es mejor utilizar las distribuciones para el análisis de la confiabilidad y la mantenibilidad. **Aparte de Weibull** existen infinitas distribuciones que simulan adecuadamente la confiabilidad, mantenibilidad y, por ende, la disponibilidad para condiciones particulares y específicas.

| Distribución | Parámetros | $f(t)$ | $\lambda(t)$ |
|--------------|------------------|--|--------------------------------|
| Exponencial | θ | $\theta e^{-\theta t}$ | $1/\theta$ |
| Uniforme | $a \ b$ | $1/(b-a)$ | $1/(b-a)$ |
| Normal | $\mu \ \sigma$ | $\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}$ | Hallarla numéricamente |
| Weibull | $\alpha \ \beta$ | $\alpha \beta \ t^{\beta-1} e^{-\alpha^* t^\beta}$ | $\alpha * \beta * t^{\beta-1}$ |
| Gamma | $\alpha \ \beta$ | $\frac{\beta^{-\alpha} t^{\alpha-1} e^{-\frac{t}{\beta}}}{\Gamma(\alpha)}$ | Hallarla numéricamente |
| Pareto | $a \ b$ | $\frac{a}{b} * \left(\frac{b}{t}\right)^{a+1}$ | a/t |

Tasa de fallas para algunas distribuciones de probabilidad

Una vez se elige el cálculo de la disponibilidad se procede a la estimación de los parámetros mediante una o dos distribuciones en función de la necesidad específica; la calidad de la selección depende de la prueba bondad de ajuste.

Distribuciones para estimación Confiabilidad-Mantenibilidad

| Distribución | Criterios |
|------------------|---|
| Normal | <ul style="list-style-type: none">- Describe fenómenos de envejecimiento de equipos (Díaz, 1992).- Describe fenómenos de modelos de fatiga (Ebeling, 2005)- Describe fenómenos naturales (Ramakumar, 1996).- Los componentes son afectados desde un comienzo por el desgaste (Rojas, 1975). |
| Exponencial | <ul style="list-style-type: none">- Las reparaciones constituyen un intercambio de piezas estándar.- Fallas aleatorias y que no dependan del tiempo que lleve en funcionamiento.- Describe situaciones de función de tasa de falla constante (Rojas, 1975).- El componente usado que aún no ha fallado, es estadísticamente tan bueno como un componente nuevo.- Modelar componentes electrónicos (Díaz, 1992). Es un caso particular de la Gamma cuando βeta = 1. |
| Weibull | <ul style="list-style-type: none">- Es la única función de probabilidad que puede utilizarse para representar cualquier tipo de distribución (Kelly y otro, 1998, 24).- Representar la vida de los componentes.- Vida de servicio de tubos y equipos electrónicos (Rojas, 1975). |
| Gamma | <ul style="list-style-type: none">- Conveniente para caracterizar los tiempos de fallas de equipos durante períodos de rodaje (Rojas, 1975).- Adecuada para representar sistemas con componentes <i>stand-by</i> (Díaz, 1992). |
| Log normal | <ul style="list-style-type: none">- Describe bien cuando la mayor parte de las intervenciones son de corta duración (Díaz, 1992).- Aplicada para equipos electrónicos y electromecánicos (Blanchard, 1994).- Se aproxima a la distribución exponencial, y siendo ésta mucho más sencilla de manejar, es esta última la que más se utiliza. |
| Binomial | <ul style="list-style-type: none">- Se aplica en eventos mutuamente excluyentes, falla o no falla (Lewis, 1995). |
| Poisson | <ul style="list-style-type: none">- Frecuentemente usada en gestión de inventarios.- Se usa también en lugar de la distribución binomial cuando se manejan probabilidades de fallas bajas (Díaz, 1992). |
| Beta | <ul style="list-style-type: none">- Usada principalmente en procesos acotados en dos extremos (Díaz, 1992). |
| Erlang | <ul style="list-style-type: none">- Es un caso especial de la distribución gamma, K entero (Díaz, 1992). |
| Rayleigh | <ul style="list-style-type: none">- Es un caso especial de la distribución Weibull, $\beta=2$ (Ebeling, 2005). |
| Chi cuadrada | <ul style="list-style-type: none">- Es un caso especial de la distribución gamma, $\lambda=0.5$, y $\nu = 2a$ (Leemis, 1995). |
| Valores Extremos | <ul style="list-style-type: none">- Es usada en modelos que limitan los valores máximos y mínimos (Díaz, 1992). |

Información necesaria para cálculos de fiabilidad

Historial del Equipo:

Debe crearse sobre una base histórica de sucesión de eventos, con toda la información relacionada, cada línea del historial corresponde a un suceso o evento del equipo, en el cual este cambia de un estado a otro.

El historial debe contener al menos los siguientes datos:

- ✓ Identificación del equipo (código),
- ✓ fecha de ocurrencia del evento,
- ✓ hora de ocurrencia del evento,
- ✓ identificación del evento (nombre normalizado del evento),
- ✓ relación (link) del evento con otra información que se genere a partir del evento (por ejemplo orden de trabajo de mantención, repuestos, observaciones, etc.),
- ✓ otra información que describe la situación del equipo al momento de la ocurrencia del evento (por ejemplo turno, operador, ubicación, etc.)

Construcción del historial de equipos:

Para calcular la confiabilidad debe generarse una tabla que tenga al menos los siguientes campos de información:

- ✓ Identificación del equipo (código),
- ✓ fecha de ocurrencia del evento,
- ✓ hora de ocurrencia del evento,
- ✓ identificación del evento (nombre normalizado del evento)

Otras técnicas o estrategias

- ✓ **RCM (Reliability-centred Maintenance):** Es un proceso que se usa para determinar lo que debe hacerse para asegurar que un elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente. *“Asegurar que los activos cumplan su función en su contexto operativo.”*
 - ✓ **TPM (Total Productive Maintenance):** Se basa en asignar a los operadores de las líneas tareas de mantenimiento simples y rutinarias. *“Objetivo: 0 fallas, 0 defectos, 0 accidentes. “Estrategia japonesa que involucra a todo el personal.”*
 - ✓ **FMEA:** Consiste en un trabajo sistemático en equipo con el fin de reconocer y evaluar fallas potenciales de un producto o proceso, y sus efectos. Al igual que el RCM, el AMFE es un análisis netamente preventivo. *“Enfoque preventivo en diseño o operación.”*
- BCM (Business-centred Maintenance):** Es una estrategia centrada en el negocio, esto es, se basa en traducir los objetivos empresariales en objetivos de mantenimiento. *“Metodología desarrollada por John Moubray (también creador del RCM moderno). Se pregunta: “¿Qué mantenimiento genera mayor valor al negocio?”*

O **Reliability-centred Maintenance (RCM)**, es una metodología estructurada cuyo objetivo es: **Determinar la estrategia de mantenimiento más efectiva para asegurar que los sistemas cumplan sus funciones requeridas según el contexto operacional.**

Se centra en la función, no en el equipo en sí.

Busca maximizar confiabilidad, disponibilidad y seguridad, al mínimo costo.

Nace en la industria aeronáutica (años 60-70).

La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM.

Según esta norma, las 7 preguntas básicas del proceso RCM son:

1. ¿Cuales son las funciones deseadas para el equipo que se esta analizando?
2. ¿Cuales son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?
3. ¿Cuales son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
4. ¿Cuales son los efectos de cada una de estas fallas?
5. ¿Cual es la consecuencia de cada falla?
6. ¿Que puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
7. ¿Que hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada?

El análisis de RCM comienza con la redacción de las funciones deseadas.

Aquí se utiliza Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMFE/FMEA) como herramienta clave

Fallas funcionales o estados de falla

Identifican todos los estados indeseables del sistema. Por ejemplo, para una bomba dos estados de falla podría ser "Incapaz de bombear agua", "Bombea menos de 500 litros/minuto", "No es capaz de contener el agua". **Los estados de falla están directamente relacionados con las funciones deseadas.**

Modos de falla

Es una posible causa por la cual un equipo puede llegar a un estado de falla. **Por ejemplo**, "impulsor desgastado" es un modo de falla que hace que una bomba llegue al estado de falla identificado por la falla funcional "bombea menos de lo requerido".

Cada falla funcional suele tener más de un modo de falla. Todos los modos de falla asociados a cada falla funcional deben ser identificados durante el análisis de RCM.

Efectos de falla

Para cada modo de falla deben indicarse los efectos de falla asociados. El "efecto de falla" es un breve descripción de "que pasa cuando la falla ocurre". Por ejemplo, el efecto de falla asociado con el modo de falla "impulsor desgastado" podría ser el siguiente: "a medida que el impulsor se desgasta, baja el nivel del tanque, hasta que suena la alarma de bajo nivel en la sala de control.

La falla de un equipo puede afectar a sus usuarios de distintas formas:

- ✓ Poniendo en riesgo la seguridad de las personas ("consecuencias de seguridad")
- ✓ Afectando al medio ambiente ("consecuencias de medio ambiente")
- ✓ Incrementando los costos o reduciendo el beneficio económico de la empresa ("consecuencias operacionales")
- ✓ Ninguna de las anteriores ("consecuencias no operacionales")

*Cada modo de falla identificado en el análisis de RCM debe ser clasificado en una de estas categorías. El orden en el que se evalúan las consecuencias es el siguiente: **seguridad, medio ambiente, operacionales, y no operacionales**, previa separación entre fallas evidentes y ocultas.*

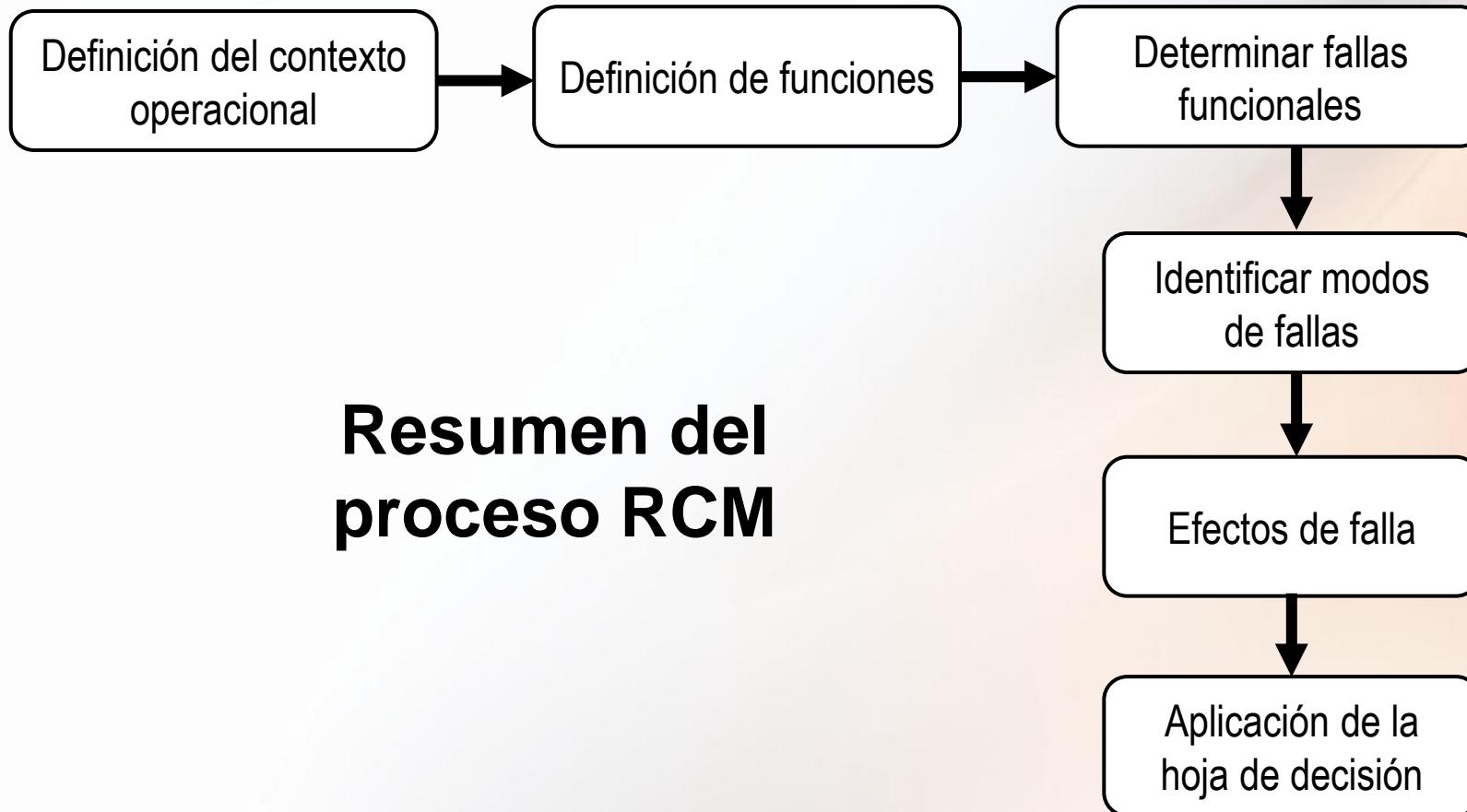
¿Cómo seleccionar el tipo de mantenimiento adecuado?

En el RCM, la selección de políticas de mantenimiento esta gobernada por la categoría de consecuencias a la que pertenece la falla.

- ✓ **Para fallas con consecuencias ocultas**, la tarea optima es aquella que consigue la disponibilidad requerida del dispositivo de protección.
- ✓ **Para fallas con consecuencias de seguridad o medio ambiente**, la tarea optima es aquella que consigue reducir la probabilidad de la falla hasta un nivel tolerable.
- ✓ **Para fallas con consecuencias económicas (operacionales y no operacionales)**, la tarea optima es aquella que minimiza los costos totales para la organización.

Beneficios del RCM

- Aumenta confiabilidad y disponibilidad
- Mejora la seguridad
- Baja costos totales del ciclo de vida
- Optimiza el stock de repuestos
- Enfoca el mantenimiento donde realmente agrega valor.



Soportes informáticos para cálculos de fiabilidad



The screenshot shows a web browser displaying the BQR website at bqr.com/es/products/fixtress/mtbf-predictions/. The page is titled "Software de cálculo MTBF". It features a table comparing various reliability prediction standards. The table has two columns: "Estándar" (Standard) and "Descripción" (Description). The standards listed are: MIL-HDBK 217F2 / G, MIL-HDBK 217F2 con VITA 51.1, FIDES, IEC 62380, IEC 61709*, Telcordia, HDBK GJB299, SN 29500, HRD 5, and NSWC. Each standard is accompanied by a brief description of its purpose or scope.

| Estándar | Descripción |
|--|---|
| MIL-HDBK 217F2 / G | PREDICCIÓN DE CONFIABILIDAD DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS |
| MIL-HDBK 217F2 con VITA 51.1 | PREDICCIÓN DE CONFIABILIDAD DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS |
| FIDES | Metodología de confiabilidad para sistemas electrónicos |
| IEC 62380 | Modelo universal para la predicción de confiabilidad de componentes electrónicos, PCB y equipos |
| IEC 61709* | Componentes eléctricos. Confiabilidad. Condiciones de referencia para tasas de falla y modelos de tensión para la conversión. |
| Telcordia | Procedimiento de predicción de confiabilidad para equipos electrónicos |
| HDBK GJB299 | Manual de predicción de confiabilidad para equipos electrónicos |
| SN 29500 | Tasa de falla, componente, valor esperado, confiabilidad |
| HRD 5 | Manual de datos de confiabilidad para componentes electrónicos |
| NSWC | Manual de procedimientos de predicción de confiabilidad para equipos mecánicos |



Productos ▾

Servicios ▾

Acerca de ▾

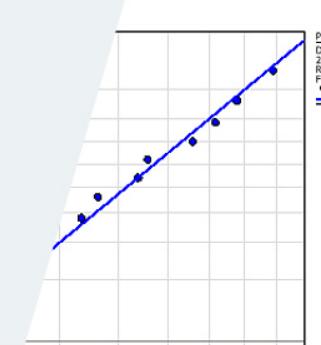
Recursos ▾

Soporte [EN]

Español ▾



Weibull++



Análisis de datos de vida de confiabilidad

ReliaSoft Weibull++ es el estándar en la industria del análisis de [datos de vida \(análisis Weibull\)](#) para miles de empresas en todo el mundo. Weibull++ proporciona el conjunto de herramientas más completo disponible para el análisis confiable de datos de vida, resultados calculados, gráficos e informes. El software es compatible con todos los tipos de datos y todas las distribuciones de por vida de producto en uso común. El software también incluye herramientas para análisis de confiabilidad relacionados, como análisis de datos de garantía, análisis de datos de degradación, análisis de datos no paramétricos, análisis de datos recurrentes de eventos, diseño de pruebas de confiabilidad y diseño y análisis de experimentos (DOE).

[ENTRENAMIENTO \[EN\]](#)

[VISTA RÁPIDA AL PRODUCTO \[EN\]](#)

[SOLICITAR UNA PRUEBA](#)

Notificaciones

NOTIFICACIONES ALERTAS

Mediciones fuera de límites

CALDERA-CA-001
Mediciones: TEMPERATURA 52 °C
0 minutos

Inventario fuera de límites

ID: 0012032012321 Filtro de Aire
Stock: 3 Pieza
3 minutos

Contrato está a punto de expirar

Mantenimiento a sistema contra incendios HC-001239
Fecha de expiración: 25/08/2024 00:00
5 minutos



Te han asignado una
nueva Orden de Trabajo

Julio Rodríguez (Externo) ha creado una solicitud
Folio: 13 Grieta profunda en habitación 303
0 minutos



IA

Nube híbrida

Productos

Consulting

Soporte

Think



Destacado

IA y machine learning

Analytics

Gestión del ciclo de vida de los activos

Automatización empresarial

Contenedores

Databases

DevOps e ingeniería

Automatización de TI

Middleware

Network

Sistemas operativos

Quantum

Security & identity

Servidores

Almacenamiento

Destacado

Concert

Software para gestionar aplicaciones, mitigar riesgos y aumentar la resiliencia

FlashSystem

Almacenamiento primario para cargas de trabajo sensibles al rendimiento y la latencia

HashiCorp

Gestione la infraestructura y la seguridad en la nube

IBM Cloud

Plataforma de computación en la nube y API bajo demanda

IBM Z

Mainframe insignia con IA en chip y criptografía quantum-safe

Instana

Software para la supervisión y automatización del rendimiento de las aplicaciones

Maas360

Software de gestión unificada endpoint para varios tipos de dispositivos

Maximo

Software para la gestión de activos y flujos de trabajo relacionados

Planning Analytics

Software para automatizar la planificación financiera y operativa

Robotic Process Automation (RPA)

Software para automatizar flujos de trabajo y procesos de negocio

Turbonomic

Software para gestionar y optimizar el uso de recursos de TI

Verify

Software de identidad, autenticación y control de acceso

watsonx

Plataforma de IA y datos

watsonx Orchestrate

Software de asistente personal que automatiza tareas repetitivas

watsonx.data

Lakehouse de datos híbrido y abierto para IA y analytics

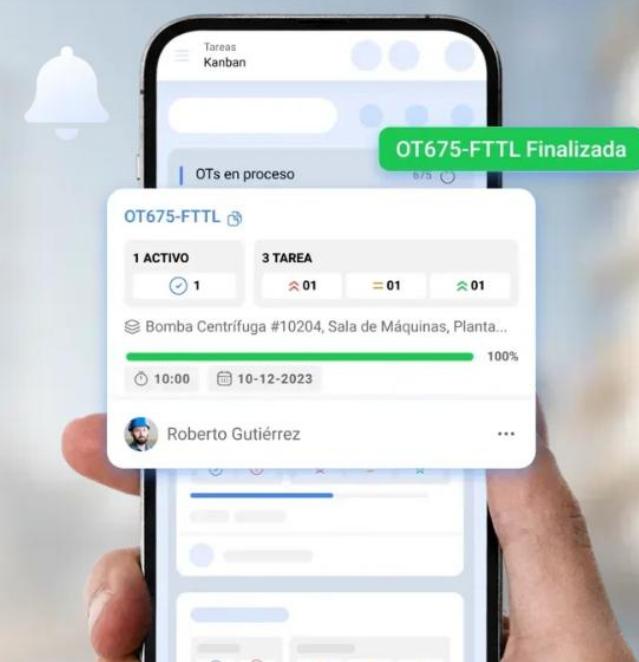
Fracttal One > Gestión de Órdenes de Trabajo

Crea y gestiona tus OT's sin errores

Órdenes de trabajo con datos exactos en un solo clic. Ahorra tiempo y gana en productividad gracias a la facilidad de uso de Fracttal One. Cada día, se crean más de un millón de OT's en nuestro software.

 Email profesional* Selecciona tu país*

Al enviar este formulario, confirmo que he leído y acepto la [Política de Privacidad](#) y [RGPD](#).

[Quiero recibir información](#)



Powering Business Worldwide

Eaton | Contáctenos



CYME

Programas de análisis de redes eléctricas

Es ahora parte de Eaton

Inicio Empresa Software Capacitación Descargas Usuarios Contáctenos

Français English

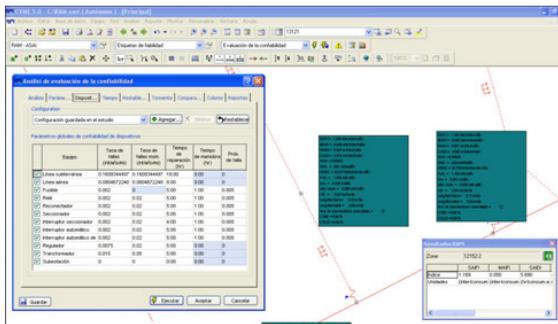
Evaluación predictiva e histórica de la confiabilidad

El módulo Evaluación predictiva e histórica de la confiabilidad del programa de análisis de redes CYME calcula los índices de confiabilidad del sistema global y de sus zonas de protección correspondientes, así como los índices en los puntos de carga. El modelo predictivo puede calibrarse basándose en datos históricos. Este módulo está totalmente integrado al programa CYME y ofrece un alto grado de flexibilidad para analizar configuraciones de redes de distribución.

Características del programa

Este módulo complementario fue diseñado para ayudar a los ingenieros en la evaluación de la confiabilidad de redes de distribución eléctrica. El programa calcula una serie de índices predictivos de confiabilidad por red o por zona de protección correspondiente como MAIFI, SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI, ENS (energía no suministrada), AENS y LEI. También calcula los índices en los puntos de carga como la frecuencia de las interrupciones, la duración, etc. de cada cliente. El módulo puede también calibrar el modelo predictivo basándose en datos históricos. Esta función es muy útil para ajustar la tasa de fallas y el tiempo de reparación de las líneas aéreas y cables para que el modelo simulado corresponda con los índices históricos.

Con él usted también podrá mostrar todos los datos históricos de fallas en el diagrama y codificarlos con colores basándose en el número de salidas de servicio, las causas, el tipo de falla, etc.



Enlaces útiles

- [Folleto](#)
- [CYMDIST](#), Análisis de sistemas de distribución
- [Ubicación óptima de reconectadores](#)

s.iusiani.ulpgc.es/?p=2190&lang=es

[Portada](#) [acerca de](#) [Contacto](#)

[PlanetRAMS](#) [Noticias](#) [Artículos](#) [Eventos](#) [Autores](#) [Datos RAMS](#) [Formación](#) [Software](#)

Diagrama de Bloques (RBD) web gratuito

Blas J. Galván | 2 agosto 2017

PlanetRAMS continua el desarrollo de aplicaciones on-line gratuitas que permitan diferentes análisis de RAMS de sus equipos y/o sistemas. Hoy queda a disposición de todos la versión Beta del programa de Diagrama de Bloques de Confiabilidad (Reliability Block Diagram, RBD). Para evaluar su RBD se usa Simulación Monte Carlo, mientras que para optimizar las Frecuencias de Preventivo se usa Optimización Multiojetivo NSGA-II. En el canal de YouTube de PlanetRAMS dispone de un vídeo que explica el uso del software (ENLACE AQUÍ). Para acceder al software haga «click» sobre la imagen siguiente.

Diagrama de Bloques (Reliability Block Diagram, RBD)

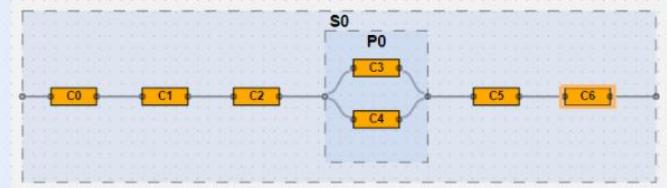


Fichero de Componentes (CSV):

Seleccionar archivo [FicheroEjemploBlas2.csv](#)

Añadir Componente

Eliminar Comp/Bloq



BIBLIOGRAFÍA

- MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento, planeación, ejecución y control. Editorial Alfaomega, Bogotá,2009.
- Programa “GESTIÓN DEL MANTENIMEINTO”. Propymes, 2014.
- Artículo “FIABILIDAD”. Villagarcía, Teresa.
- Estudio de caso: IT RAMS: Modelización y Simulación de la Fiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad de Sistemas TIC. Sergio Gonzalo San José, 2015.

Páginas Web consultadas:

- ✓ <https://bsginstitute.com/bs-campus/blog/Calculo-Automatizado-de-Confiabilidad-54>
- ✓ <https://cecma.com.ar/wp-content/uploads/2019/04/modulo-ii-el-deterioro-de-los-equipos-mantenimiento-correctivo-preventivo-y-predictivo-v1.pdf>
- ✓ <https://predictiva21.com/confiabilidad-mantenibilidad-ciclo-vida-activo/>