

INGENIERÍA INDUSTRIAL II

UNIDAD VII

“FIABILIDAD”

AÑO 2023

Conceptos de Fiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad

La fiabilidad, disponibilidad y facilidad de mantenimiento son las denominadas funciones RAS (del inglés reliability, availability y serviceability)

El Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad (Análisis RAM), es un estudio proactivo de diagnóstico de la disponibilidad y el factor de servicio de un proceso de producción para un período determinado de tiempo, que busca caracterizar el estado actual de un proceso, sistema o equipos y predecir su comportamiento futuro basado en la configuración y confiabilidad de sus componentes y en la filosofía de mantenimiento, mediante el análisis del historial de fallas y reparaciones, los datos de las condiciones operacionales y datos técnicos.

La Fiabilidad puede definirse como la probabilidad de que un sistema se mantenga operativo durante un determinado periodo de tiempo bajo condiciones ambientales normales.

- ✓ Permanencia de la calidad de los productos (o servicios) a lo largo del tiempo.
- ✓ Capacidad de desarrollar adecuadamente su labor a lo largo del tiempo.
- ✓ ISO define fiabilidad como la *probabilidad de que un componente* o sistema, desarrolle durante un periodo de tiempo dado, la tarea que tiene encomendada sin fallos, y en las condiciones establecidas.

La disponibilidad es el porcentaje de tiempo que un sistema se encuentra disponible para realizar sus funciones correctamente y se conoce también como disponibilidad media.

✓ Es la capacidad de un activo o componente para estar en un estado (arriba) para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado.

La facilidad de mantenimiento (mantenibilidad) mide la facilidad y la eficacia en el mantenimiento y reparación del producto.

✓ Mantenibilidad es definida por la ISO/DIS 14224, como la capacidad (o probabilidad), bajo condiciones dadas, que tiene un activo o componente de ser mantenido o restaurado en un periodo de tiempo dado a un estado donde sea capaz de realizar su función original nuevamente, cuando el mantenimiento ha sido realizado bajo condiciones prescritas, con procedimientos y medios adecuados. Esto quiere decir, que si un componente tiene un 95% de Mantenibilidad en una hora, entonces habrá 95% de probabilidad de que ese componente sea reparado exitosamente en una hora.

Análisis RAM (Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad – CDM)

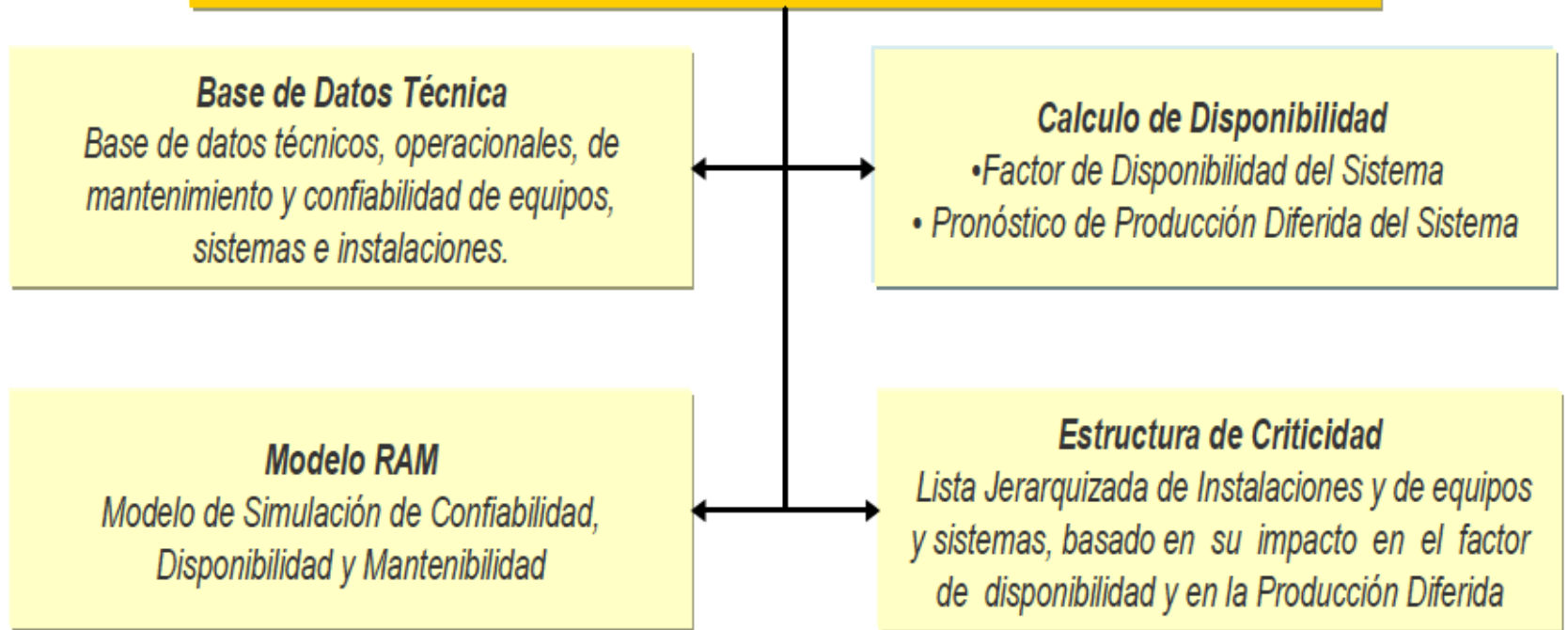


Figura 3. Resultados del Análisis RAM



MODELO GENERAL DE ANÁLISIS RAM

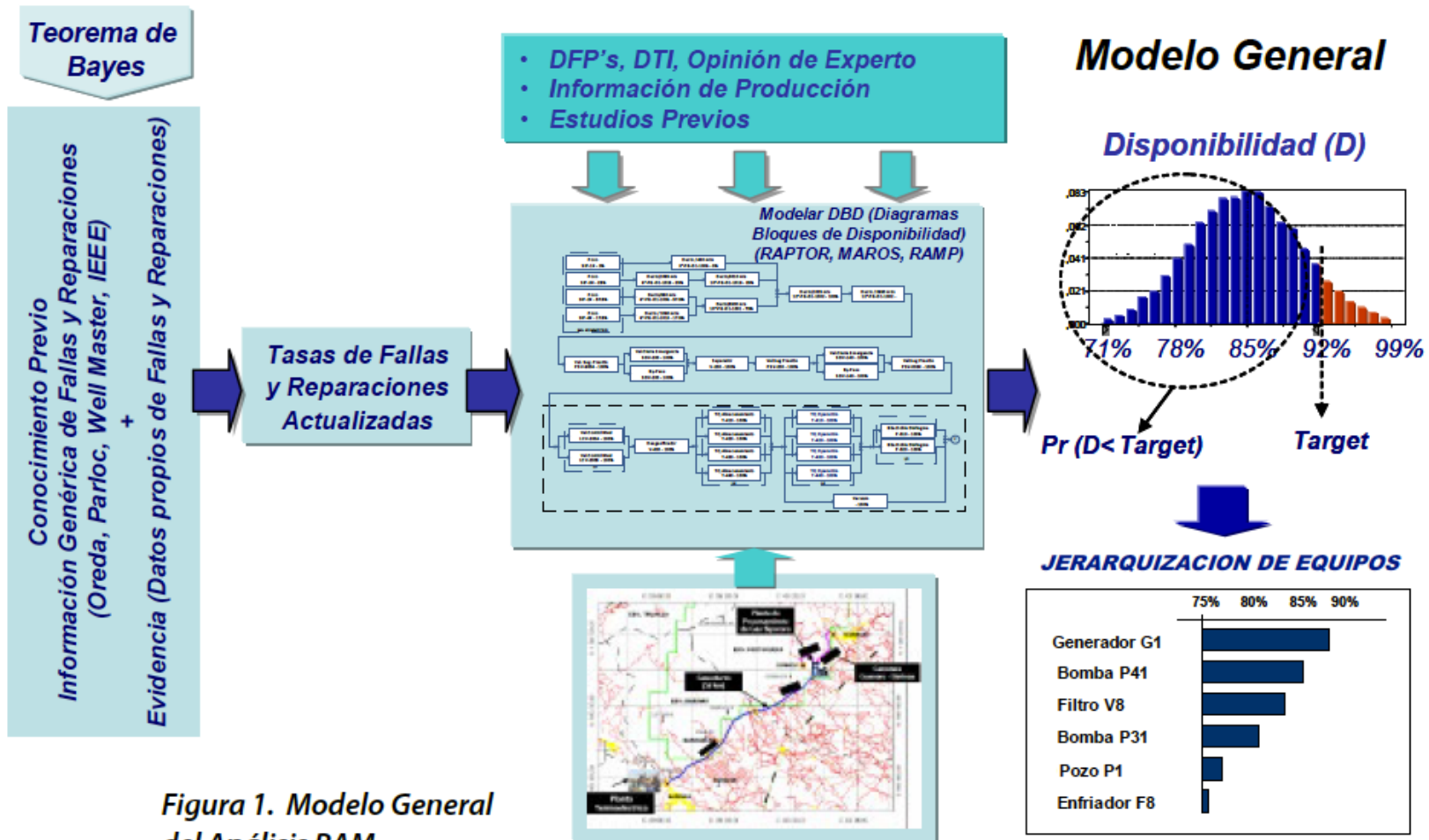


Figura 1. Modelo General del Análisis RAM

CONFIABILIDAD O RELIABILITY

La medida de 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 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) evento(s) de falla (en confiabilidad) por estudiar; N es el número total de eventos posibles; P_f es la probabilidad de falla.

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

Donde:

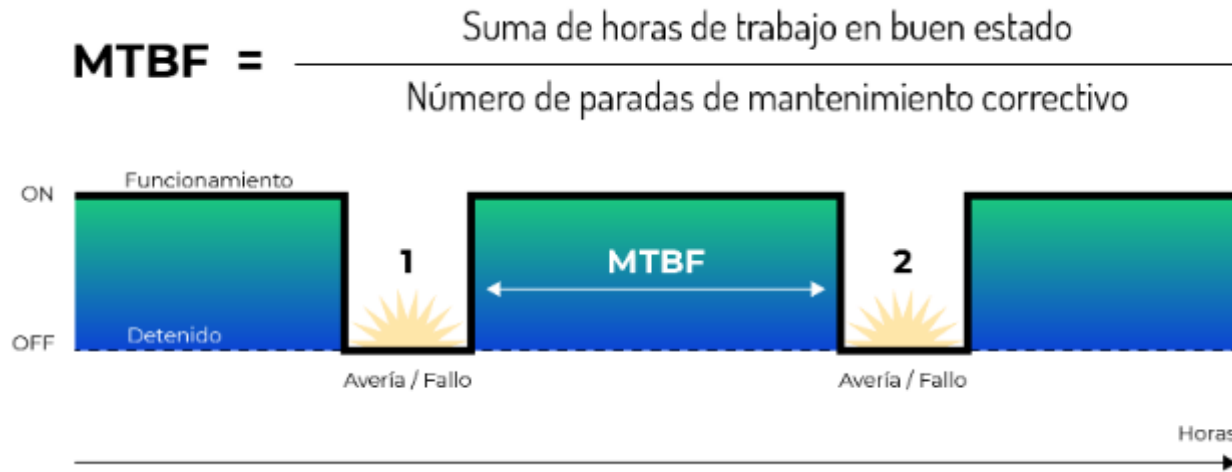
P_f se define como la probabilidad de que ocurra el evento n ante una serie grande o infinita N , de eventos posibles.

La primera letra del análisis RAM representa la probabilidad que un activo desempeñe su función – especificada por el proyecto y de acuerdo con las condiciones de operación – durante un determinado período.

En la práctica, la Confiabilidad puede ser medida con la ayuda de diversas herramientas, entre ellas:

- I. **FMEA (Failure Modes and Effects Analysis):** el Análisis de Modos y Efectos del Fallo, identifica los problemas en el equipo antes de que ocurran, así como sus causas y consecuencias. Además de eso, jerarquiza los fallos calculando el RPN (Risk Priority Number), respondiendo las preguntas esenciales para el plan de mantenimiento –¿Cuál es el fallo? ¿Cómo ocurrió? ¿Cuántas veces? ¿Cuál fue el impacto? ¿Cuál es su gravedad? ¿Cuál es el valor del riesgo?
- II. **Árbol de Fallos (FT):** una manera organizada y lógica de relacionar los fallos y sus causas. A través de la reconstrucción inversa del proceso que culminó en el problema, el FT permite que el gestor descubra las raíces físicas, humanas que están latentes en aquel defecto, siendo también excelente para mostrar cuánto un sistema es capaz de resistir los fallos simples o múltiples.
- III. **Diagrama de Bloques de Confiabilidad (RBD):** este diagrama sirve de complemento para el árbol de fallos y muestra paso a paso el fallo del componente. Es decir, todo lo que pasó entre las posibles causas y el problema manifestado.

El mayor aliado del gestor a la hora de medir la confiabilidad de las máquinas es el MTBF (Mean Time Between Failures).



Cuanto mayor sea el tiempo medio de buen desempeño, más confiable es el sistema, puesto que los activos están demorando más en dar fallo. Si queremos ser más específicos y saber la probabilidad de determinado equipo funcionar perfectamente en la próxima semana o el próximo mes usaremos el cálculo de confiabilidad:

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

λ = Taza de fallos

$$\lambda(t) = \frac{1}{\text{MTBF}}$$

t = Tiempo

Debe seguir la unidad
MTBF (horas, días, ...)

e = Constante de Neper

2,7182...

Una vez identificados el MTBF y la confiabilidad de cada activo, se puede programar las inspecciones y demás actividades de mantenimiento preventivo.



Representación matemática de la función de confiabilidad

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

Donde:

$R(t)$ 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.

Límite $R(t) = 0$, $\lim_{t \rightarrow \infty}$, expresa que todo elemento o máquina, siempre entra en estado de falla, así sea en un tiempo grande o infinito (Leemis, 1995).

La función de confiabilidad permite responder la pregunta: ¿Cuál es la probabilidad de que la máquina dure más de T horas sin fallas en la función $R(t) = P(T > t)$?

OTRAS MEDIDAS PARA LA CONFIABILIDAD : La probabilidad es la medida clásica para valorar la confiabilidad. La “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). Ejemplo de estas entidades son:

Entidad		Alcance
IEC	Internacional Electrotechnical Commission	Equipo eléctrico
NFPA	National Fire Protection Association	Instalaciones eléctricas, equipo contra-incendio
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	
UL	Underwriter Laboratories	Equipo eléctrico
ASME	American Association of Mechanical Engineers	Equipos mecánicos
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas	Materiales, equipos eléctricos, postes de concreto, etc

DISPONIBILIDAD O AVAILABILITY

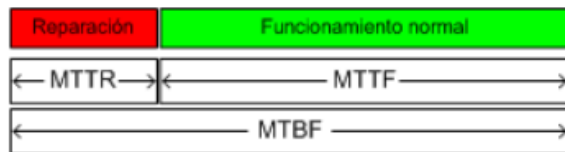
A diferencia de la confiabilidad, la disponibilidad nos dice, analizando el pasado, el tiempo en que el activo estuvo disponible para realizar sus funciones. *En otras palabras, se trata de la capacidad que un equipo tiene de estar en condiciones de ejecutar su función especificada en el proyecto, durante un intervalo de tiempo determinado.*

Al calcular la disponibilidad, comparamos la cantidad de horas durante las cuales la máquina estuvo disponible con la cantidad de horas de trabajo planeadas (estas últimas son calculadas por la suma de *uptime*, tiempo de actividad, más el *downtime*, tiempo de inactividad).

En la práctica este cálculo se basa en dos importantes indicadores: el MTTR (Tiempo medio de reparación) y el MTBF (tiempo medio entre fallas).

$$\text{DISPONIBILIDAD} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \times 100$$

TRACTIAN



MTTF: tiempo medio de funcionamiento hasta la falla.
MTTR: tiempo medio de reparación
MTBF: tiempo medio entre fallas

Tasa de falla: $\lambda = \frac{1}{MTTF}$

Tasa de reparación: $\mu = \frac{1}{MTTR}$ →

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

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

Donde T es el período entre inspección.

MANTENIBILIDAD O MAINTAINABILITY

Se denomina mantenibilidad a 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.

Mientras que la confiabilidad indica cuánto podemos confiar en el buen funcionamiento del activo y la disponibilidad muestra si él puede ser usado, la Mantenibilidad (capacidad de mantenimiento) representa la facilidad con la que podemos reparar el equipo para devolverlo a su función después de un fallo.

El objetivo de la letra M del análisis RAM es justamente eliminar los obstáculos y las dificultades en la acción de los técnicos y mantener el buen desempeño de la máquina.

Tenemos una mantenibilidad alta cuando el tiempo medio de reparación es bajo. Esto quiere decir que a la máquina le lleva poco tiempo para retomar su estado normal productivo. O sea, mejorar el MTTR es sinónimo de mejorar la capacidad de mantenimiento, de la misma forma, la disponibilidad de los activos, puesto que como debemos recordar, el tiempo medio de reparación también entra en este cálculo.

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.

Al contrario de los dos primeros pilares del análisis RAM, la mantenibilidad no es necesariamente cuantificable y exige una evaluación más humana que considere, además de los costos, algunos puntos determinantes para el trabajo del equipo de mantenimiento cómo:

- *El acceso del equipo de mantenimiento a los puntos de reparación e inspección;*
- *Si es necesario mover los activos;*
- *Las condiciones de seguridad del trabajo del equipo de mantenimiento durante las reparaciones o las inspecciones;*
- *La distribución optimizada de los equipos de mantenimiento a fin de eliminar tiempo de improductividad.*

El tratamiento de la curva de mantenibilidad es similar al de la curva de confiabilidad; esta función se representa por $M(t)$ e 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 .

$$M(t) = P[T \leq t]$$

Donde:

$M(t)$ es la función de mantenibilidad o de reparación, la cual va aumentando en la medida que se incrementa el tiempo t . Al igual $\lim_{t \rightarrow 0} M(t) = 0$ o enunciado como $M(0) = 0$ denota que siempre la probabilidad de realizar un mantenimiento en un tiempo cero es cero. En la medida en que se amplía el tiempo de realización, la curva

$$M(t) = 1 - e^{-\mu \cdot t} \quad (4)$$

Donde:

$M(t)$: es la función mantenibilidad, que representa la probabilidad de que la reparación comience en el tiempo $t=0$ y sea concluida satisfactoriamente en el tiempo t (probabilidad de duración de la reparación).

e : constante Neperiana ($e=2.303..$)

μ : Tasa de reparaciones o número total de reparaciones efectuadas con relación al total de horas de reparación del equipo.

t : tiempo previsto de reparación TMPR

Los cálculos de la mantenibilidad se realizan en forma diferente y dependen de la disponibilidad que se use; los elementos que se deben estimar en cada caso son:

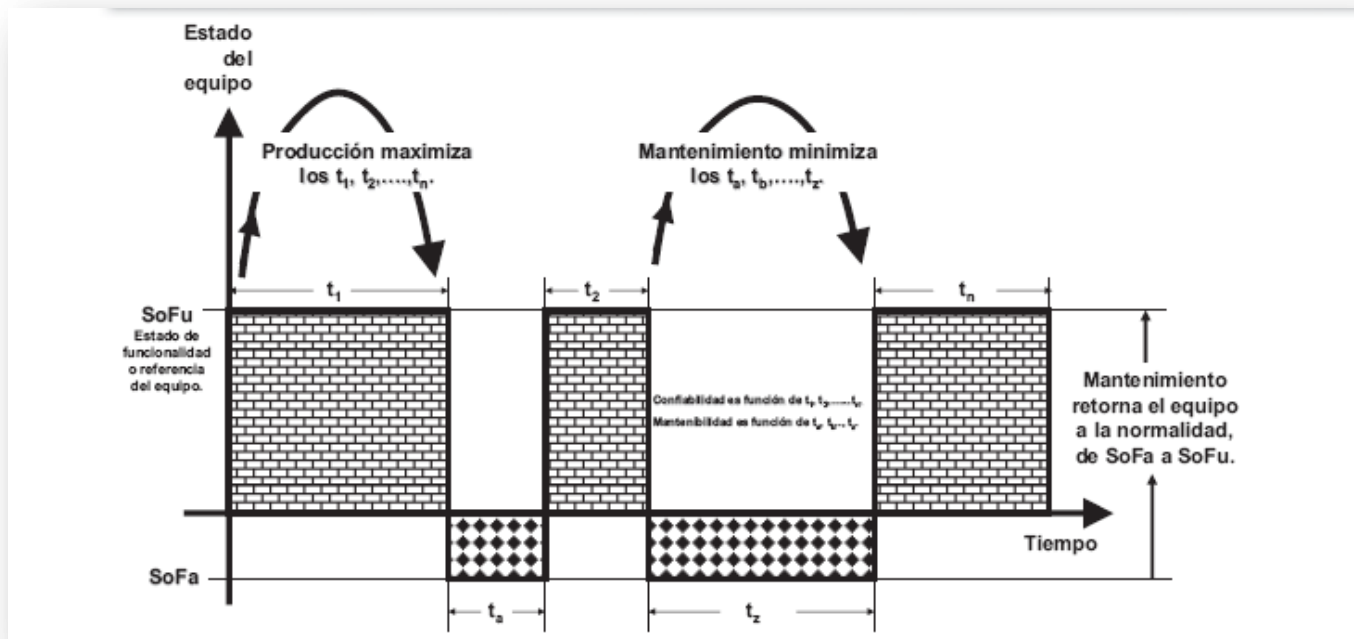
- ✓ *Para disponibilidad genérica MDT.*
- ✓ *Para disponibilidad inherente MTTR.*
- ✓ *Para disponibilidad alcanzada , el cual se obtiene del correctivo con MTTR y de lo planeado con MP.*

La **confiabilidad** permite establecer y medir cómo actúa el área de producción en la administración y explotación de los equipos para generar bienes y servicios y, por otro lado, la **mantenibilidad** evalúa la gestión y la operación del mantenimiento (Mora, 1999, 2007c) que se realiza a esos elementos o máquinas.

La **disponibilidad** es el adjetivo calificativo integral de las dos áreas (producción y mantenimiento, actuando conjuntamente), como de otras divisiones de la empresa; mide la obtención de productos y bienes intangibles de la empresa en general.

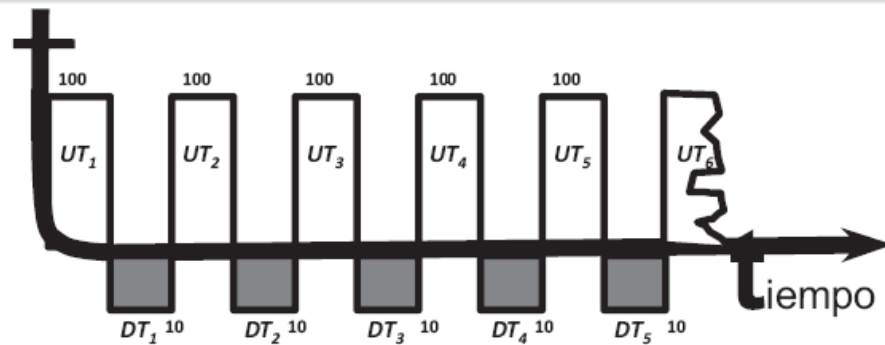
La confiabilidad es responsabilidad de producción, la mantenibilidad es compromiso de mantenimiento y la disponibilidad es encargo de la gerencia o dirección que está por encima de ambas y que abarca probablemente otras áreas de la compañía.

Descripción de CMD en el tiempo, funciones y responsabilidades

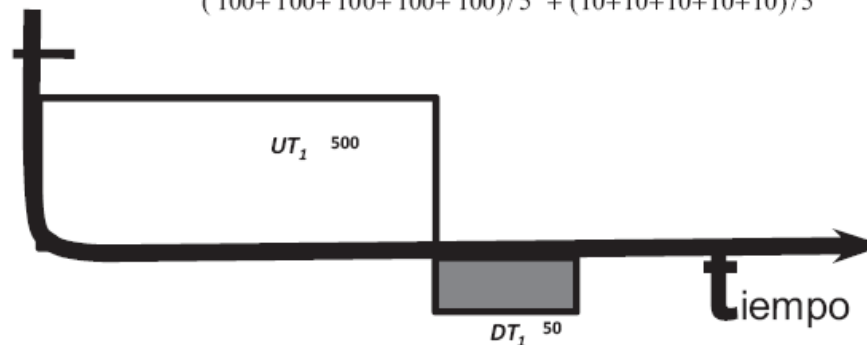


El cálculo mediante los modelos de confiabilidad y mantenibilidad al utilizar distribuciones, presenta una gran ventaja frente al modelo puntual. Cuando el cálculo del MTBF o del MTTR se realiza con el método puntual de promedios, se tiene la desventaja de que varias curvas de confiabilidad o de mantenibilidad 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.

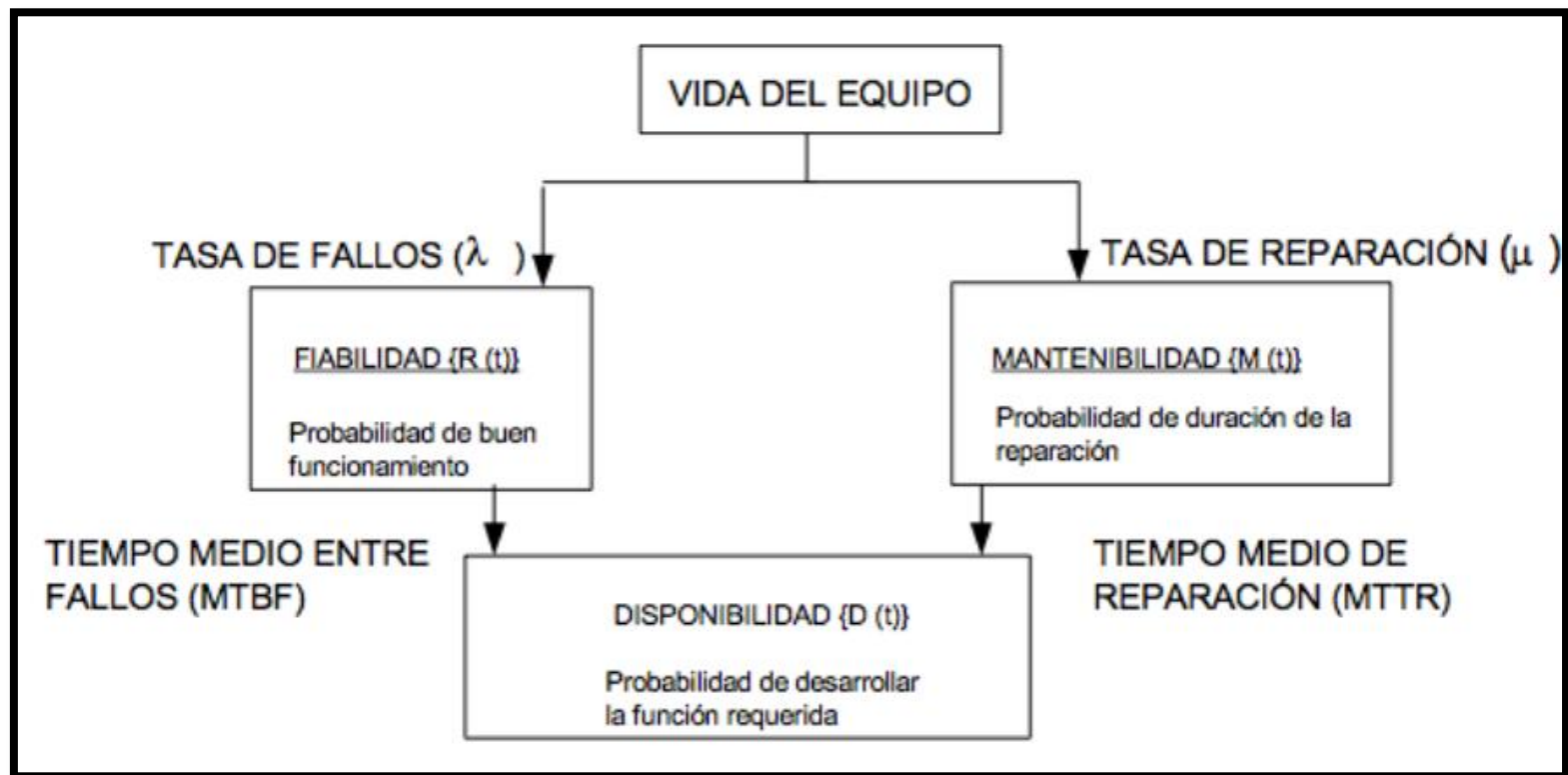
Dos casos con igual disponibilidad (método puntual) y comportamientos antagónicos



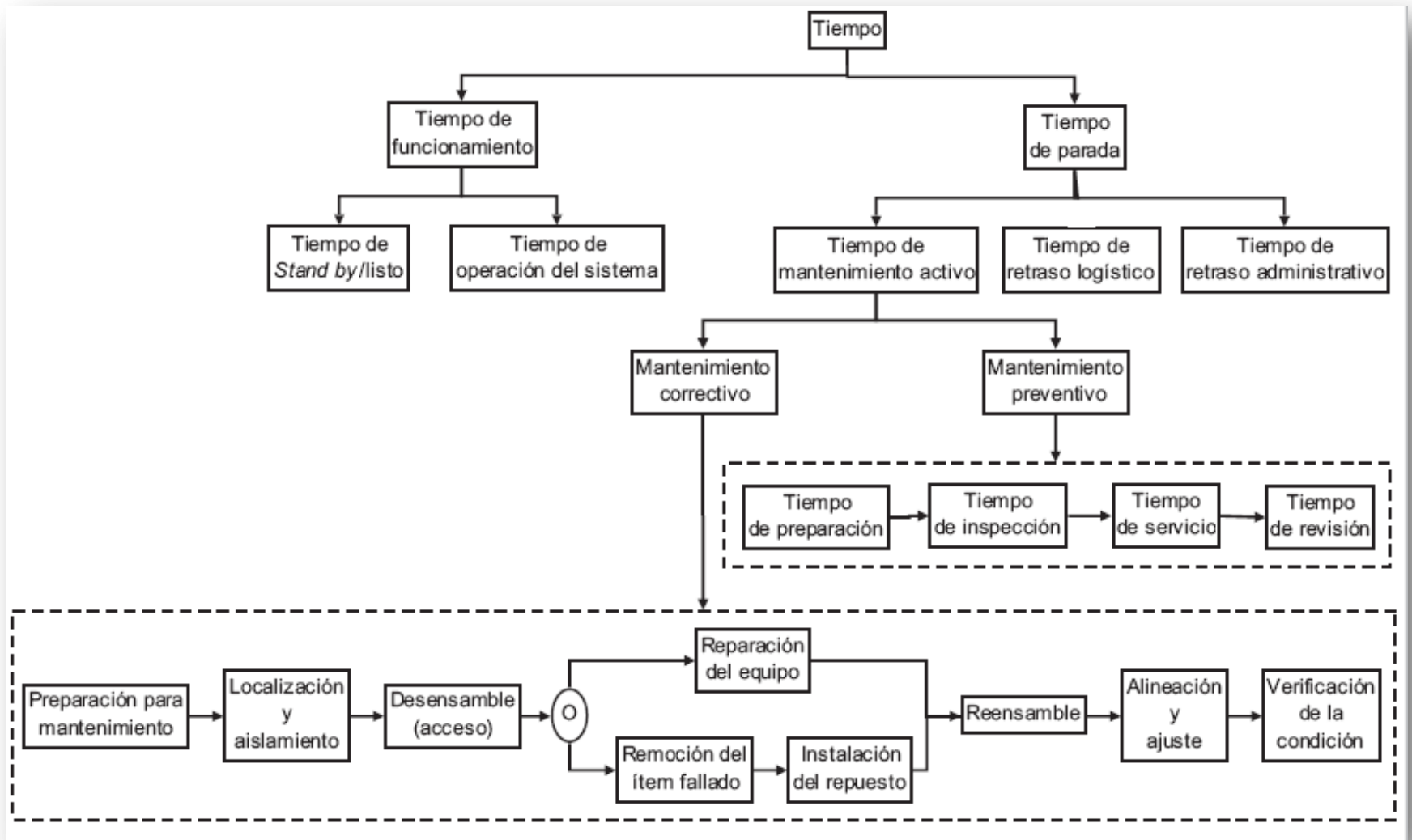
$$\text{Disponibilidad caso superior} = \frac{(100 + 100 + 100 + 100 + 100) / 5}{(100 + 100 + 100 + 100 + 100) / 5 + (10 + 10 + 10 + 10 + 10) / 5} = 90.90\%$$



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



Ciclo general de actividades de reparaciones y/o mantenimientos planeados



FIABILIDAD E INFIABILIDAD

La Fiabilidad se refiere a la permanencia de la Calidad de los productos o servicios a lo largo del tiempo.

Decimos que 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 empresa 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.

Definir que el problema fundamental en fiabilidad, es estimar la vida de un producto o sistema y la probabilidad de que se produzca un fallo en cada momento. Este problema se estudia en una parte de la Estadística que se denomina Análisis de Datos de Supervivencia (A.D.S.).

FALLO (Failure): Se trata de un evento. Podemos encontrar 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:** Los fallos 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:** Fallos debidos a causas físicas (p.ej. variedad de modos de degradación). Los fallos aleatorios 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:** Fallos debidos a (in)-acciones de operadores, personal de mantenimiento, etc.

ANÁLISIS DE FALLOS:

- ✓ **Inductivo:** Análisis que 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:** Análisis que 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:** Análisis realizado 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:** Análisis de 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 FALLOS (Failure): Las causas de fallo son clasificadas 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 FALLOS

Esta función proporciona la posibilidad de fallo inmediato dado que el componente está funcionando.

Para el análisis de procesos de duración, resulta especialmente indicada la hazard function -en fiabilidad se conoce como failure rate o tasa de fallo- que se define como:

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

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

Esta función indica la posibilidad de fallo inmediato dado que el componente está funcionando en ese momento

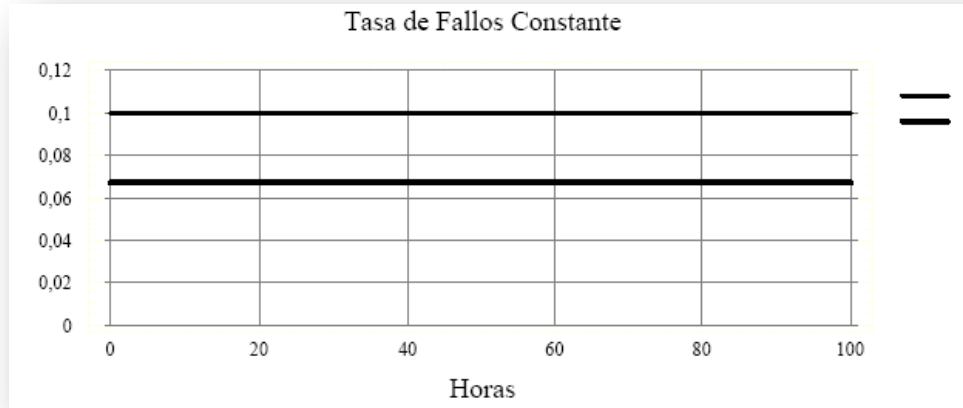
La evolución de la tasa instantánea de fallo, es decir la probabilidad de que un elemento que no ha fallado todavía en el instante t , falle en el instante siguiente $t + \Delta t$, es de suma importancia en el estudio de la fiabilidad de componentes, o en general en el análisis de cualquier fenómeno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

Es habitual encontrar 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)

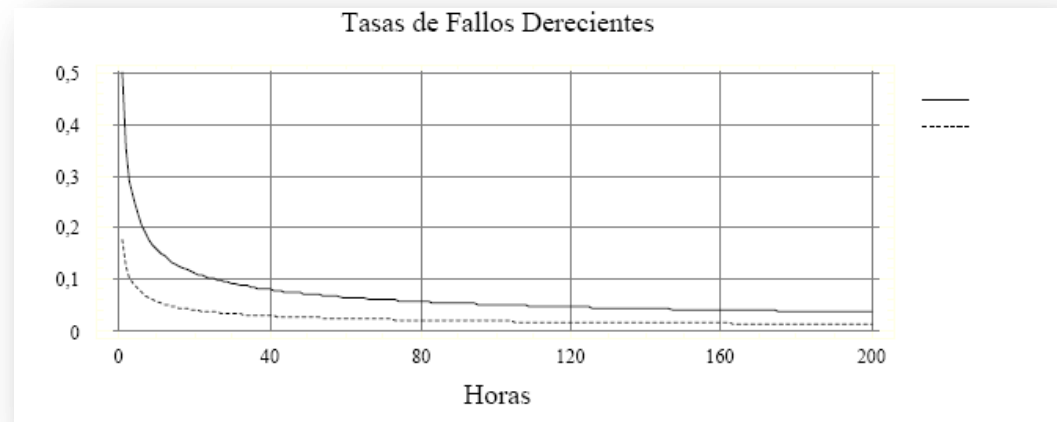
TASA DE FALLOS CONSTANTE: Indica que la probabilidad de fallo instantáneo es la misma en cualquier momento y consecuentemente el proceso no tiene memoria, ya que la posibilidad de fallo estando funcionando, es idéntica en cualquier momento de la vida del componente



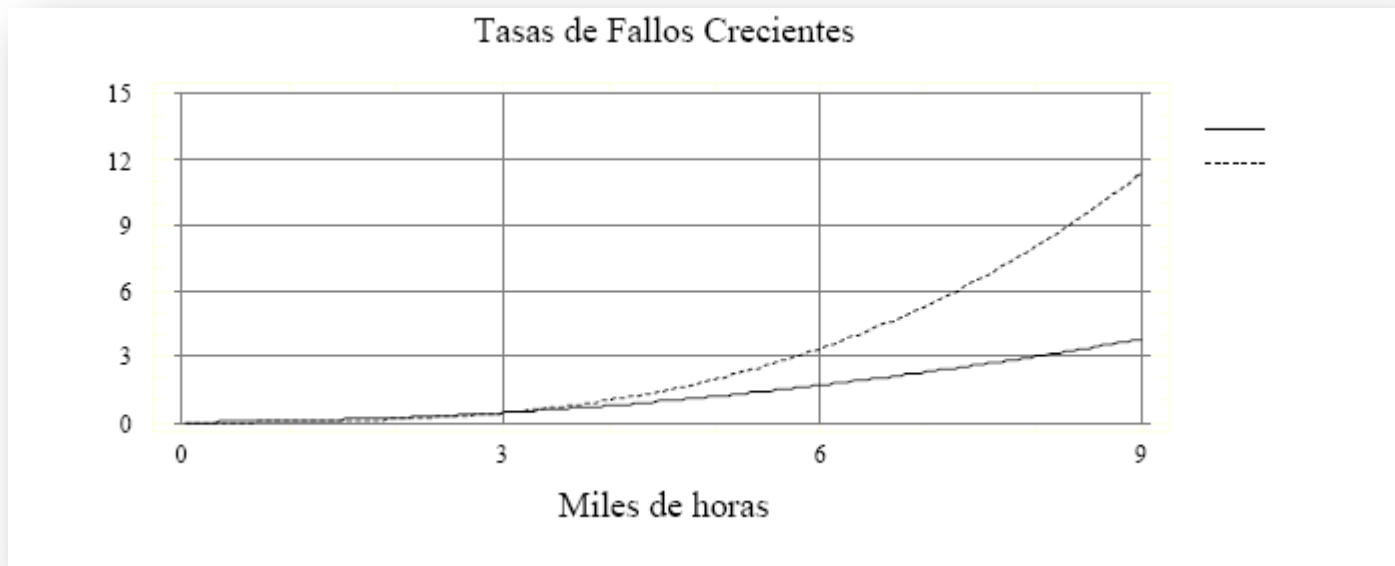
Ejemplo: si se tienen componentes electrónicos cuya vida es muy larga instalados en sistemas que cuentan con elementos mecánicos de vida útil muy inferior, el modelo de tasa de fallos constante es perfectamente adecuado.

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.

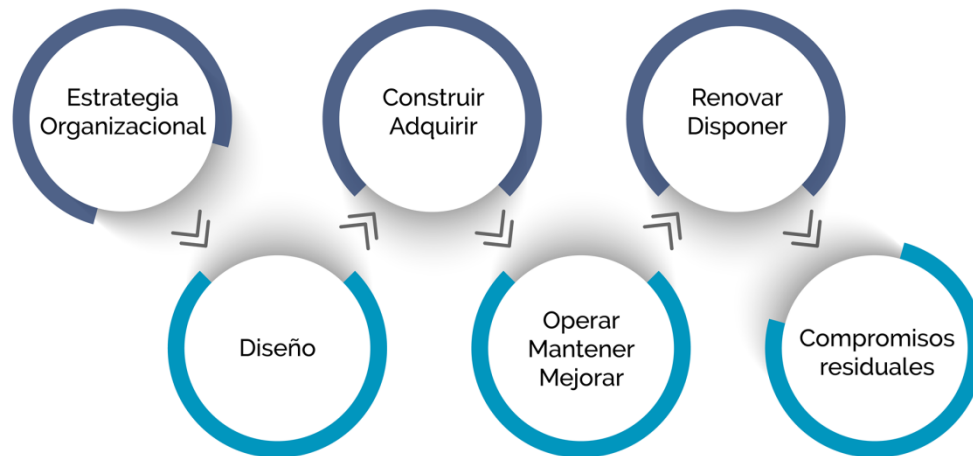
Si no fallan en las primeras 80 horas, la posibilidad de fallo se reduce notablemente en ambos casos. El ensayo bajo stress permitir eliminar aquellos componentes que fallen al principio. De esta manera la empresa evita introducir en el mercado piezas defectuosas.



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 tender á a crecer.

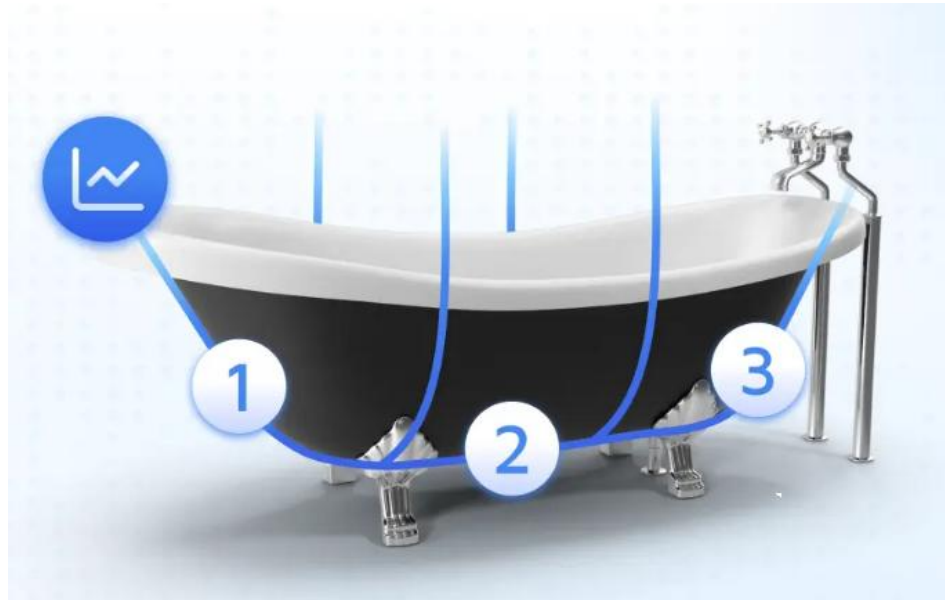


CICLO DE VIDA Y VIDA ÚTIL DE EQUIPOS



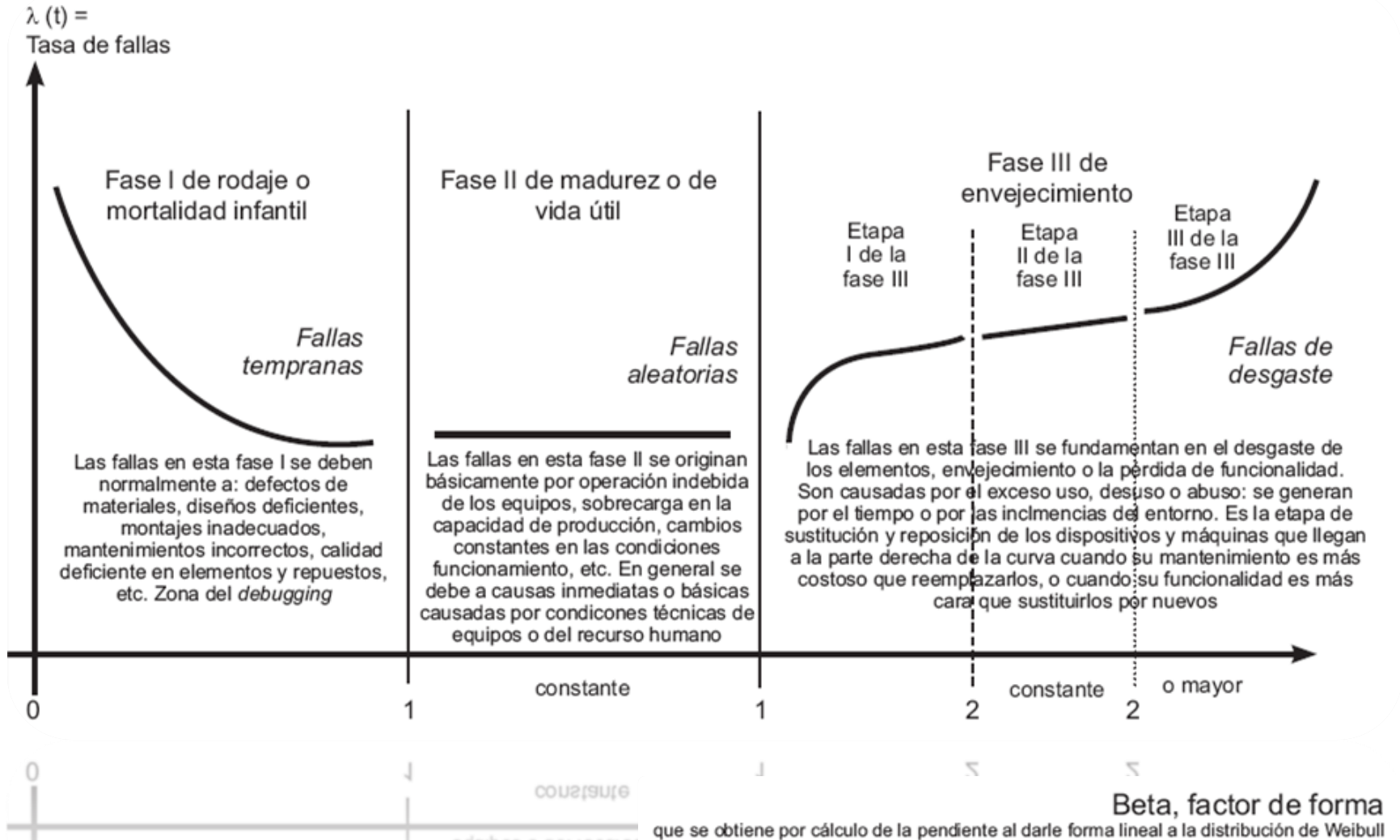
CURVA DE DAVIES (CURVA DE LA BAÑERA)

Representa la probabilidad de que un determinado activo falle a lo largo del tiempo y nos permite distinguir claramente tres fases distintas en el ciclo de vida del activo. Conocer bien estas tres fases permite adaptar el plan de mantenimiento a la vida del activo.



La curva de la bañera es un modelo conocido en la ingeniería de fiabilidad, representando visualmente el ciclo de vida de un producto a través de tres fases distintas que se divide en: *mortalidad infantil (fase I), vida útil (Fase II) y desgaste (fase III)*.

Curva de la bañera o de Davies



✓ La tasa de fallas en la fase I es decreciente, pues 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. 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.

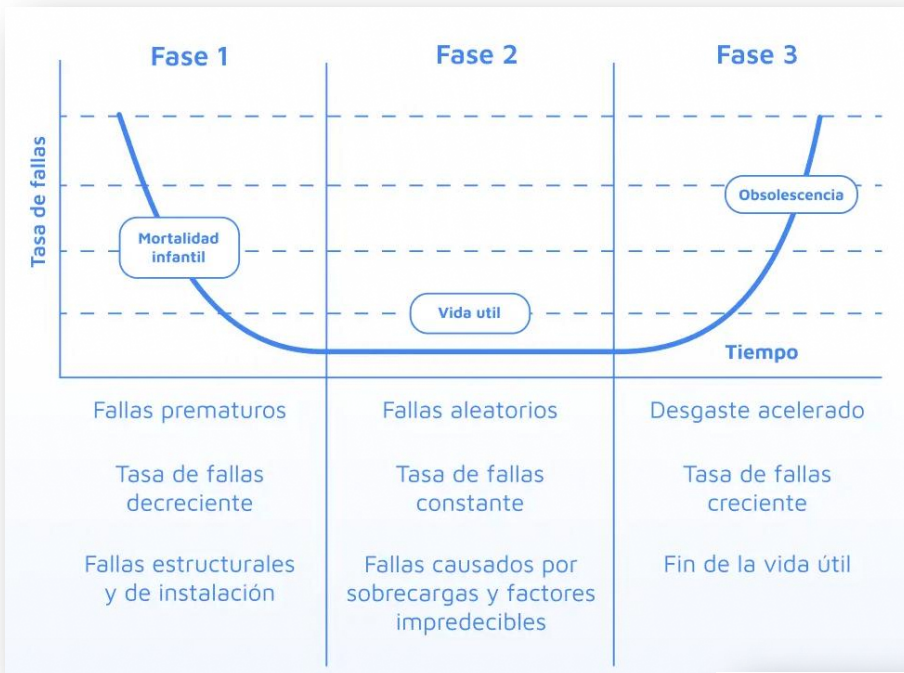
➤ En la zona III de la fase III de envejecimiento puro, en que la **vida útil del elemento se acelera** y la tasa de fallas se incrementa aceleradamente. En esta etapa normalmente se estabiliza el uso de **acciones predictivas**, pero cuando éstas ya no mejoran la mantenibilidad de la máquina, se usa la reposición o la sustitución como única alternativa.

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.

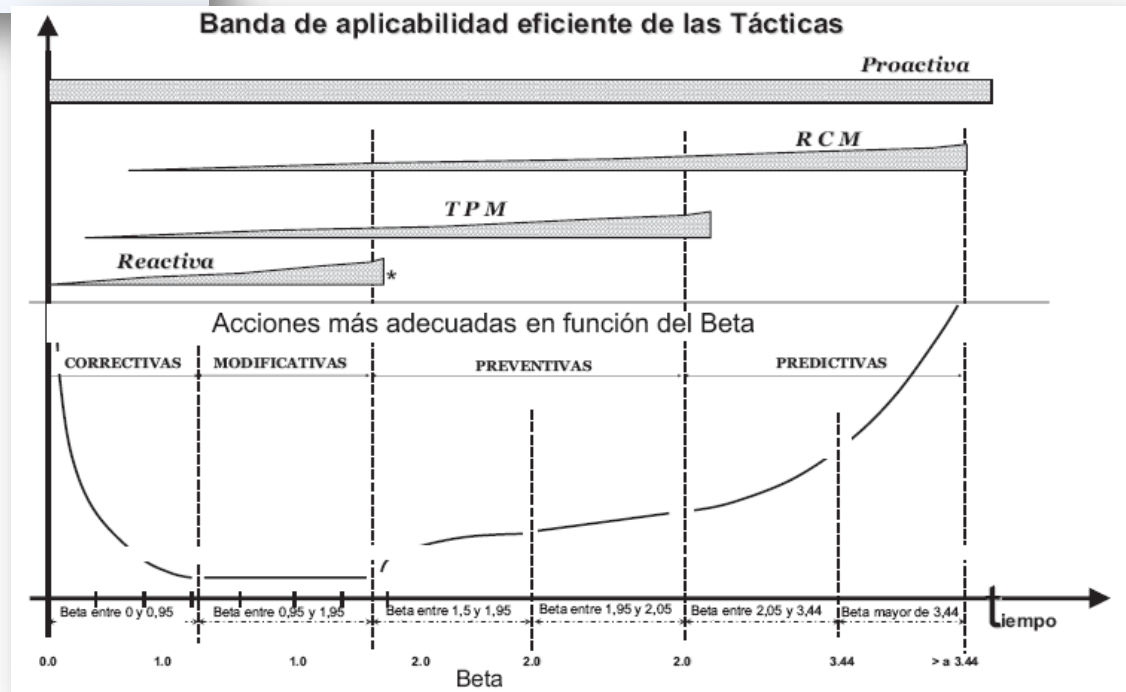
De acuerdo con el valor del equipo para ese momento, se selecciona si las tareas de mantenimiento deben ser correctivas, modificativas, preventivas o predictivas, al tener en cuenta la fase en que se encuentre el elemento o sistema.

El 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.
- ✓ 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.
- ✓ En la sección III de la fase III ocurren fallas totalmente predecibles y sus tiempos de duración se normalizan totalmente.



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



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.

Además de Weibull existen infinitas distribuciones, de las cuales muchas son útiles y simulan adecuadamente tanto la confiabilidad como la 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	$a \ b$	$1/(b-a)$	$1/(b-t)$
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

Distribuciones para estimación Confiabilidad-Mantenibilidad

<i>Distribución</i>	<i>Criterios</i>
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 $\beta = 1$.
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,197592). - 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

La historia del equipo (o historial) 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 mantenimiento, 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)*

Nuevas 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.

✓TPM (Total Productive Maintenance): Se basa en asignar a los operadores de las líneas tareas de mantenimiento simples y rutinarias.

✓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.

✓BCM (Business-centred Maintenance): Es una estrategia centrada en el negocio, esto es, se basa en traducir los objetivos empresariales en objetivos de mantenimiento.

RCM - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

El mantenimiento centrado en Confiabilidad (MCC), o Reliability-centred Maintenance (RCM), ha sido desarrollado para la industria de la aviación civil hace más de 30 años.

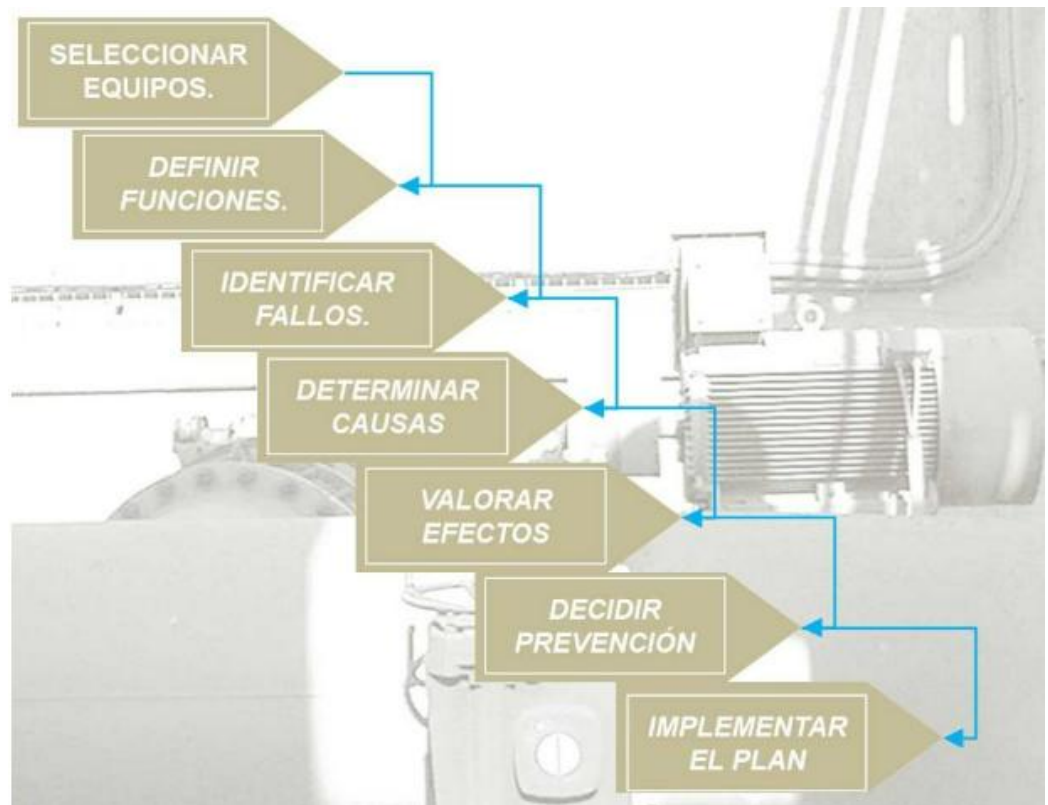
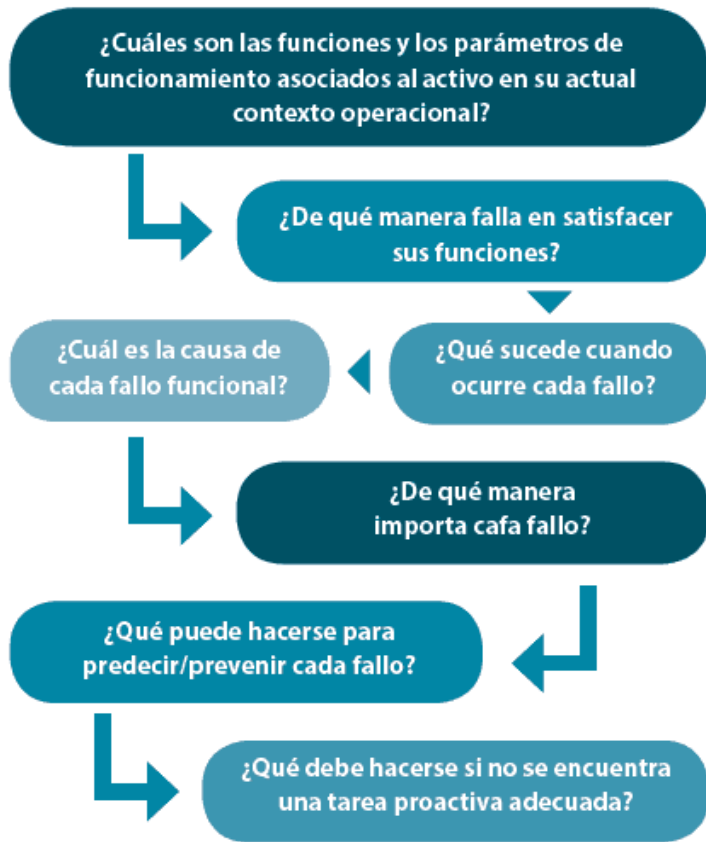
El proceso permite determinar cuales son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico.

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.



✓ Fallas funcionales o estados de falla

Las 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". Notar que los estados de falla están directamente relacionados con las funciones deseadas.

✓ Modos de falla

Un modo 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.

✓ Los 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.

¿Como seleccionar el tipo de mantenimiento adecuado?

- ✓ 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.

RCM: Ventajas y Limitaciones

Las principales *ventajas* del RCM son que Concentra los recursos económicos y humanos para el mantenimiento en aquellos elementos que causarían la mayor interrupción si fallaran, aumenta la fiabilidad de los equipos, mejora el equilibrio entre producción-mantenimiento y promueve un mejor conocimiento de la instalación.

Limitaciones: Es un proceso complejo y extenso en el tiempo, implica una inversión económica importante y requiere de una puesta a punto constante.

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

Es un proceso de análisis racional, sistemático y estructurado, que define las tareas óptimas de mantenimiento necesarias para eliminar los riesgos asociados a la materialización de los modos de falla presentes en los equipos y sistemas de las industrias y sus consecuencias.

Causa de falla

¿Qué origina o causa la falla funcional?

Determinación de la fallas funcionales

¿De qué manera puede fallar?

Definiciones de funciones

¿Cuáles son las funciones y estándares deseados de desempeño del equipo en su contexto operativo?

Efectos de falla

¿Qué pasa cuando falla?
¿Qué impacto genera cuando falla?

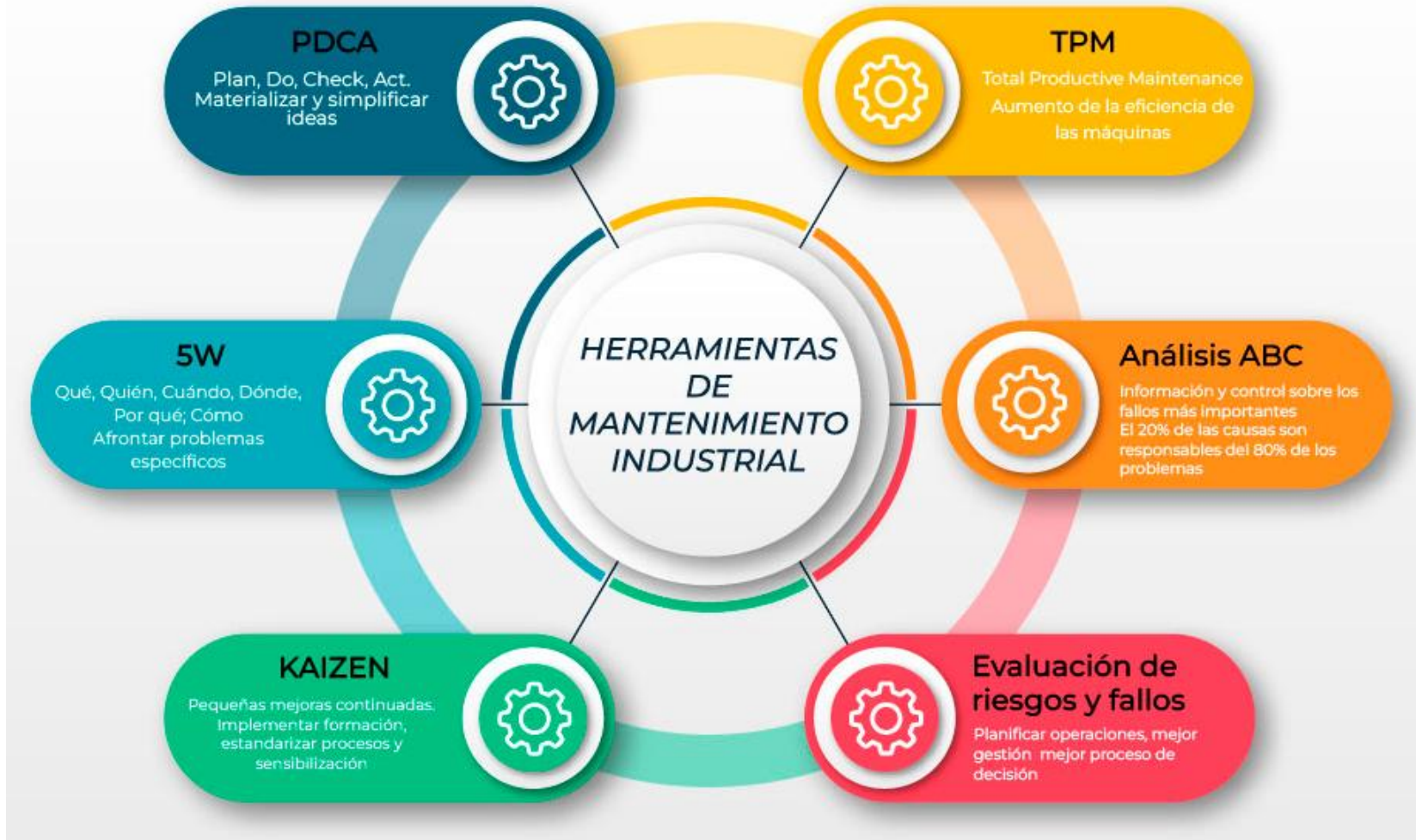
Tareas proactivas para evitar el efecto de la falla

¿Qué debería hacerse para prevenir la falla?



NUEVOS CONCEPTOS Y TIPOS DE MANTENIMIENTO

Los métodos para ahorrar recursos en mantenimiento pueden ser varios, pero sobresalen dos: uno que consiste en ampliar los períodos entre mantenimientos planeados. Y el segundo método, y quizá el más exitoso, es el análisis de fallas que sirve para erradicar o controlar fallas reales o potenciales en los elementos o equipos.



Soportes informáticos para cálculos de fiabilidad

← → ↻ bqr.com/es/products/fixtress/mtbf-predictions/

Programe una demostración [Calculadoras gratis](#) [Consigue una cotización](#)

BQR
Reliable Engineering
Optimized Maintenance

Productos **Aplicaciones** Industrias Servicios pro

Software de cálculo MTBF

Cuando se diseña un producto, el tiempo medio entre fallas (MTBF), la tasa de fallas y la vida útil son parámetros importantes que a menudo requieren los clientes finales para cumplir con las normas y regulaciones. El MTBF es importante para los análisis de seguridad y confiabilidad de los sistemas críticos, pero en los últimos años el MTBF también se ha convertido en un parámetro estándar para comparar la calidad de la electrónica de consumo.

El software de predicción BQR MTBF cumple con los siguientes estándares:

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	Procedimientos de confiabilidad para equipos electrónicos
HDBK GJB299	Manual de procedimientos de confiabilidad
SN 29500	Tasa de falla de componentes electrónicos
HRD 5	Manual de procedimientos de confiabilidad
NSWC	Manual de procedimientos de confiabilidad para equipos electrónicos

ReliaSoft 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](#)

[←](#) [→](#) [↻](#) [No es seguro](#) | [cyme.com/es/software/cymdistram/](#)



Powering Business Worldwide

Eaton | [Contáctenos](#)

[/ Inicio / Software / Evaluación predictiva e histórica de la confiabilidad](#)



CYME

Programas de análisis de redes eléctricas

Es ahora parte de Eaton

Inicio Empresa Software Capacitación Descargas Usuarios Contáctenos Français English

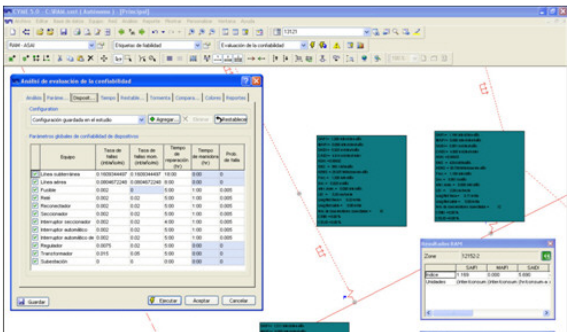
Evaluación predictiva e histórica de la confiabilidad

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.



Equipo	Tasa de fallas (fallas/año)	Tiempo de reparación (hrs)	Tiempo de mantenimiento (hrs)	Índice de confiabilidad	Índice de disponibilidad
Linea subterránea	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.99999999	0.99999999
Linea aérea	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.99999999	0.99999999
Transformador	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.99999999	0.99999999
Interruptor	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.99999999	0.99999999
Interruptor subterráneo	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.99999999	0.99999999
Interruptor subterráneo	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.99999999	0.99999999
Regulador	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.99999999	0.99999999
Transformador	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.99999999	0.99999999
Subestación	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.99999999	0.99999999

Enlaces útiles

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

Google Búsqueda personal

Contáctenos

Internacional y Canadá
 Tel: (450) 461-3655
 Fax: (450) 461-0966

EE.UU.
 Tel: (800) 361-3627

 Web: cymeinfo@eaton.com

[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

Bias J. Galván | 2 agosto 2017

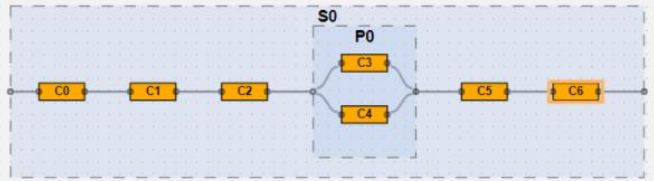
PlanetRAMS continua el desarrollo de aplicaciones on-line gratuitas que permitan diferentes análisis de RAMS de sus equipos y/o sistemas. Hoy queda a disposición de todos la versión Beta del programa de Diagrama de Bloques de Confiabilidad (Reliability Block Diagram, RBD). Para evaluar su RBD se usa Simulación Monte Carlo, mientras que para optimizar las Frecuencias de Preventivo se usa Optimización Multiobjetivo 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):

FicheroEjemploBias2.csv



```

    graph LR
      S0((S0)) --> C0[C0]
      C0 --> C1[C1]
      C1 --> C2[C2]
      C2 --> P0
      subgraph P0 [P0]
        C3[C3]
        C4[C4]
      end
      P0 --> C5[C5]
      C5 --> C6[C6]
  
```