

# TEMA 7

## MANTENIMIENTO Y FIABILIDAD

Grado en Ingeniería en Organización Industrial



Universidad  
Rey Juan Carlos



# TEMA 7

## MANTENIMIENTO Y FIABILIDAD

### OBJETIVOS:

1. Conocer las normas ISO 55000 como base común en la gestión de activos.
2. Conocer la importancia del mantenimiento como pieza clave en la definición de la estrategia.
3. Reconocer las distintas tipologías de mantenimiento.
4. La fiabilidad como elemento clave en las políticas de mantenimiento.



- El entorno de la industria actual viene definido por un alto nivel de competencia en el que cualquier fallo en el proceso puede tener graves consecuencias en la respuesta frente a los clientes.
- **Mantenimiento:** Conjunto de actividades que desarrolla la organización para garantizar la operatividad de sus activos productivos.
- **Objetivos principales que persigue la estrategia de mantenimiento y fiabilidad:**
  - ✓ Mantener la continuidad del proceso productivo dentro de los niveles de tolerancia definidos.
  - ✓ Optimizar los costes asociados a los activos.
  - ✓ Contribuir a la reducción general de costes del proceso productivo.
  - ✓ Garantizar la seguridad de las personas implicadas.

**Para lograr los objetivos, la organización deberá definir una estrategia de mantenimiento, consistente con la estrategia general de negocio que se desarrollará en distintos planes y actividades.**

- En el análisis de las políticas de mantenimiento se deben tener presentes tres conceptos que están asociados al servicio que presta el activo productivo:
  1. **Fiabilidad:** Probabilidad de que un elemento funcione correctamente durante un período de tiempo en unas condiciones establecidas.
  2. **Mantenibilidad:** Es el esfuerzo requerido para mantener un elemento en condiciones de funcionamiento o para restituir esas condiciones tras un fallo. En la actualidad, los equipos se diseñan pensando en su mantenibilidad aplicando técnicas como la ingeniería de valor.
  3. **Disponibilidad:** Probabilidad de que un elemento esté en uso o listo para su utilización. Viene condicionada por los fallos y por el tiempo en que se tarda en restituir la funcionalidad, es decir, por la fiabilidad y la mantenibilidad.

# TEMA 7

## MANTENIMIENTO Y FIABILIDAD



7.1. ISO 55000 Y GESTIÓN DE ACTIVOS

7.2. LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

7.2.1. TIPOS DE MANTENIMIENTO

7.2.2. COSTES DE LA ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO

7.2.3. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO POR FAMILIAS DE ACTIVOS PRODUCTIVOS

7.2.4. IMPLANTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

7.3. FIABILIDAD

7.3.1. FIABILIDAD Y SUBPROCESOS. FIABILIDAD DE MÚLTIPLES COMPONENTES



✓ Dirección de la Producción y Operaciones. Decisiones operativas. (Arias Aranda, D. y Minguela Rata, B.) Cap. 10.

- El enfoque actual consiste en contemplar el mantenimiento como una actividad más dentro del ciclo de vida de cada elemento de activo:



### ISO 55000

- Gestión de activos:** conjunto de actividades coordinadas para materializar el valor de sus activos.
- Sistema de gestión de activos:** conjunto de elementos interrelacionados de una organización que interactúan entre sí con la función de definir la política, los objetivos y los procesos asociados a la gestión de activos.

### **Ventajas de la gestión de activos**

- Conocimiento por parte del conjunto de la organización de su base de activos.
- Gestión del riesgo a lo largo de todo el ciclo de vida del activo, permitiendo el alargamiento de su vida útil.
- Mejora de productos y servicios.
- Demostración de responsabilidad social y cumplimiento normativo y consecuentemente de la reputación de la empresa.
- Mejora de la sostenibilidad de la actividad empresarial.
- Mejora en eficacia y eficiencia de los procesos empresariales, optimizando la capacidad instalada y su utilización.

# TEMA 7

## MANTENIMIENTO Y FIABILIDAD



7.1. ISO 55000 Y GESTIÓN DE ACTIVOS

7.2. LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO



7.2.1. TIPOS DE MANTENIMIENTO

7.2.2. COSTES DE LA ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO

7.2.3. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO POR FAMILIAS DE ACTIVOS PRODUCTIVOS

7.2.4. IMPLANTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

7.3. FIABILIDAD

7.3.1. FIABILIDAD Y SUBPROCESOS. FIABILIDAD DE MÚLTIPLES COMPONENTES

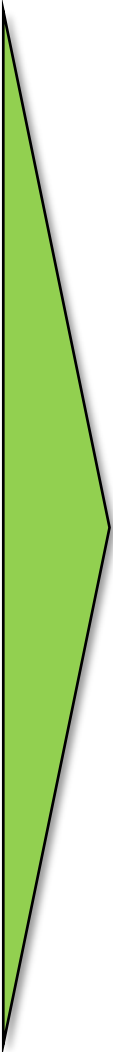


✓ Dirección de la Producción y Operaciones. Decisiones operativas. (Arias Aranda, D. y Minguela Rata, B.) Cap. 10.

## 7.2. LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

### 7.2.1. TIPOS DE MANTENIMIENTO

- **Objetivo:** reducir la frecuencia y gravedad de las averías, incrementar la vida útil de los equipos y mantener la calidad de los productos.
- **Tipologías de mantenimiento:**
  - ✓ **Mantenimiento correctivo:** son las actividades que se realizan para recuperar el estado de operación de un equipo tras un fallo. Se considera no programable.
  - ✓ **Mantenimiento preventivo:** actividades encaminadas a mantener los elementos del activo productivo en perfecto estado de funcionamiento. Es programable. La frecuencia de actuación se puede definir por tiempo de vida del elemento (Mantenimiento Basado en Tiempo) o por el tiempo en que el equipo está en funcionamiento (Mantenimiento Basado en Utilización).
  - ✓ **Mantenimiento predictivo:** supone la monitorización del estado de los distintos elementos para intervenir cuando las variables indican la proximidad de un fallo (Mantenimiento Basado en Condición). Se puede programar la obtención de información, pero no el momento de ejecución de las tareas de mantenimiento.
  - ✓ **Mantenimiento productivo total:** consiste en la introducción dentro de la cultura empresarial del concepto de mantenimiento preventivo. Todo el personal operativo se ve implicado en el mantenimiento del equipamiento que utiliza.



La estrategia de mantenimiento debe estar subordinada a la estrategia general de negocio



# TEMA 7

## MANTENIMIENTO Y FIABILIDAD



7.1. ISO 55000 Y GESTIÓN DE ACTIVOS

7.2. LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

7.2.1. TIPOS DE MANTENIMIENTO

7.2.2. COSTES DE LA ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO

7.2.3. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO POR FAMILIAS DE ACTIVOS PRODUCTIVOS

7.2.4. IMPLANTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

7.3. FIABILIDAD

7.3.1. FIABILIDAD Y SUBPROCESOS. FIABILIDAD DE MÚLTIPLES COMPONENTES



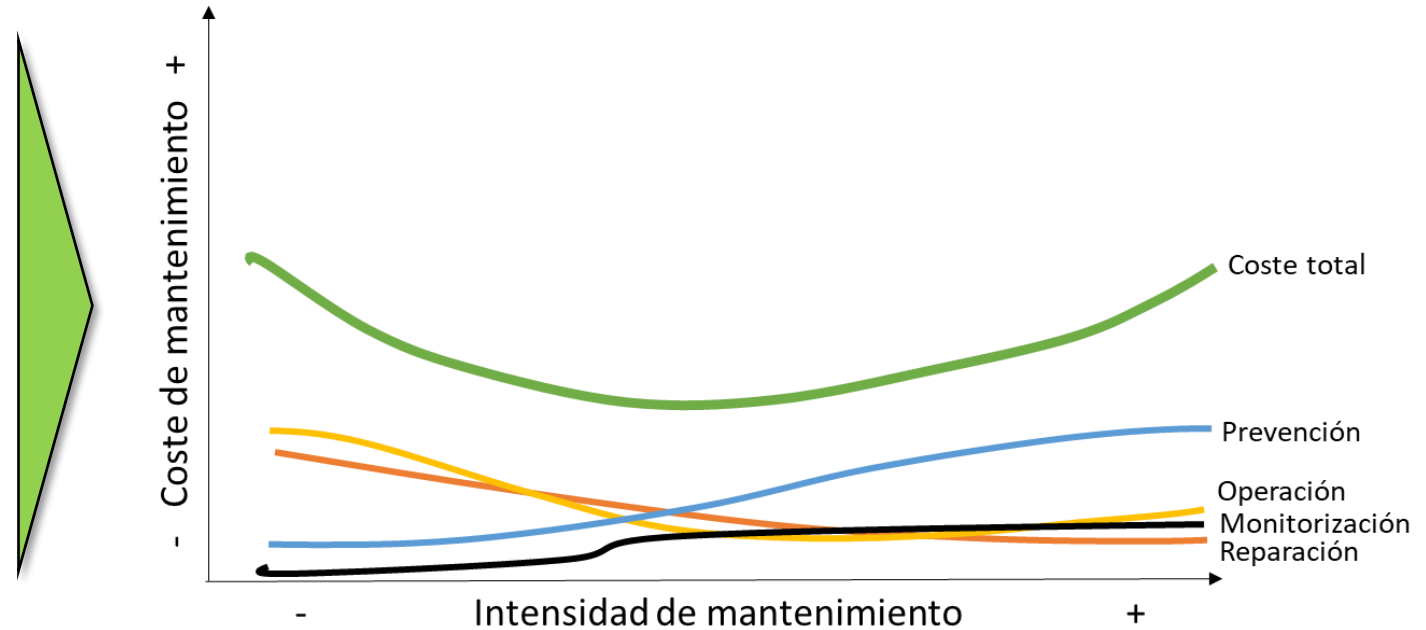
✓ Dirección de la Producción y Operaciones. Decisiones operativas. (Arias Aranda, D. y Minguela Rata, B.) Cap. 10.

## 7.2. LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

### 7.2.2. COSTES DE LA ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO

#### • Tipos de costes:

- ✓ Prevención
- ✓ Reparación
- ✓ Operación (inducidos por el fallo)
- ✓ Monitorización



### COMPARATIVA DE COSTES DE MANTENIMIENTO

TIPOLOGÍA	COSTES			
	Prevención	Reparación	Operación	Monitorización
<b>Correctivo</b>	↓ Se espera el fallo	↑ Se producen los fallos	↑ No se prevé el fallo hasta que ocurre	↓ No se monitoriza
<b>Preventivo</b>	↑ Mayor intensidad	↓ Bajan los fallos con la prevención	↓ Menor impacto en las operaciones	↓ No se monitoriza
<b>Predictivo</b>	↓ Menor intensidad de mantenimiento	↓ Bajan los fallos	↓ Se pueden predecir los fallos	↑ Captura de información

# TEMA 7

## MANTENIMIENTO Y FIABILIDAD



7.1. ISO 55000 Y GESTIÓN DE ACTIVOS

7.2. LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

7.2.1. TIPOS DE MANTENIMIENTO

7.2.2. COSTES DE LA ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO

7.2.3. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO POR FAMILIAS DE ACTIVOS PRODUCTIVOS

7.2.4. IMPLANTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

7.3. FIABILIDAD

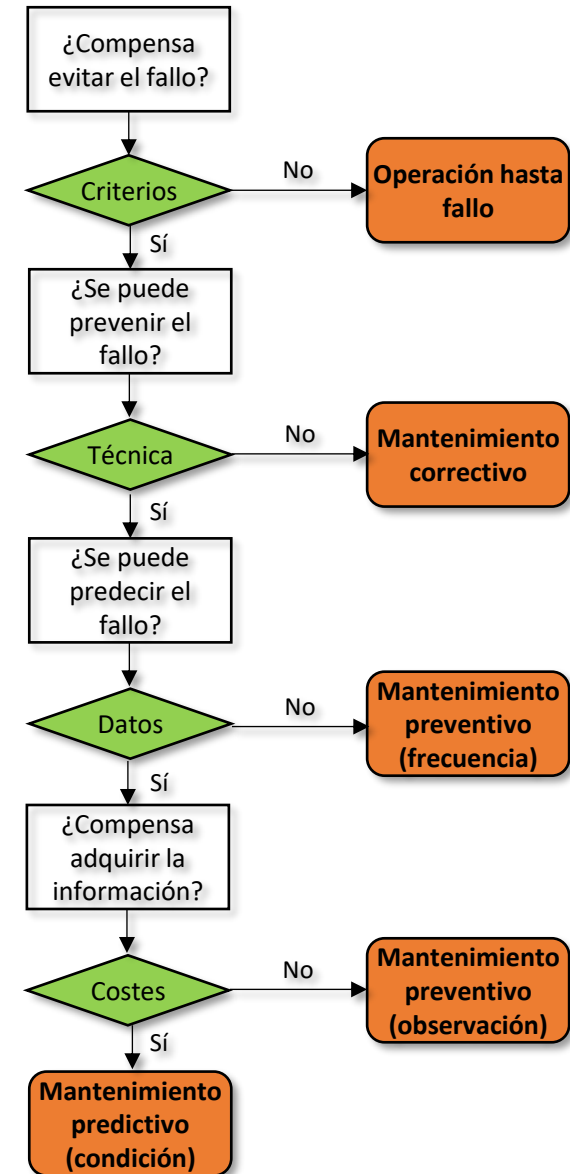
7.3.1. FIABILIDAD Y SUBPROCESOS. FIABILIDAD DE MÚLTIPLES COMPONENTES



✓ Dirección de la Producción y Operaciones. Decisiones operativas. (Arias Aranda, D. y Minguela Rata, B.) Cap. 10.

#### Proceso de selección de la estrategia

- Clasificar los activos en familias según sus peculiaridades para el mantenimiento:
  - ✓ Criticidad dentro del proceso productivo
  - ✓ Coste de sustitución
  - ✓ Impacto en la seguridad de las personas
  - ✓ Accesibilidad
- Analizar desde el punto de vista de los costes y de la estrategia general de las operaciones.
- Definir distintas estrategias para las distintas familias de elementos.



# TEMA 7

## MANTENIMIENTO Y FIABILIDAD



7.1. ISO 55000 Y GESTIÓN DE ACTIVOS

7.2. LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

7.2.1. TIPOS DE MANTENIMIENTO

7.2.2. COSTES DE LA ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO

7.2.3. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO POR FAMILIAS DE ACTIVOS PRODUCTIVOS

7.2.4. IMPLANTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

7.3. FIABILIDAD

7.3.1. FIABILIDAD Y SUBPROCESOS. FIABILIDAD DE MÚLTIPLES COMPONENTES

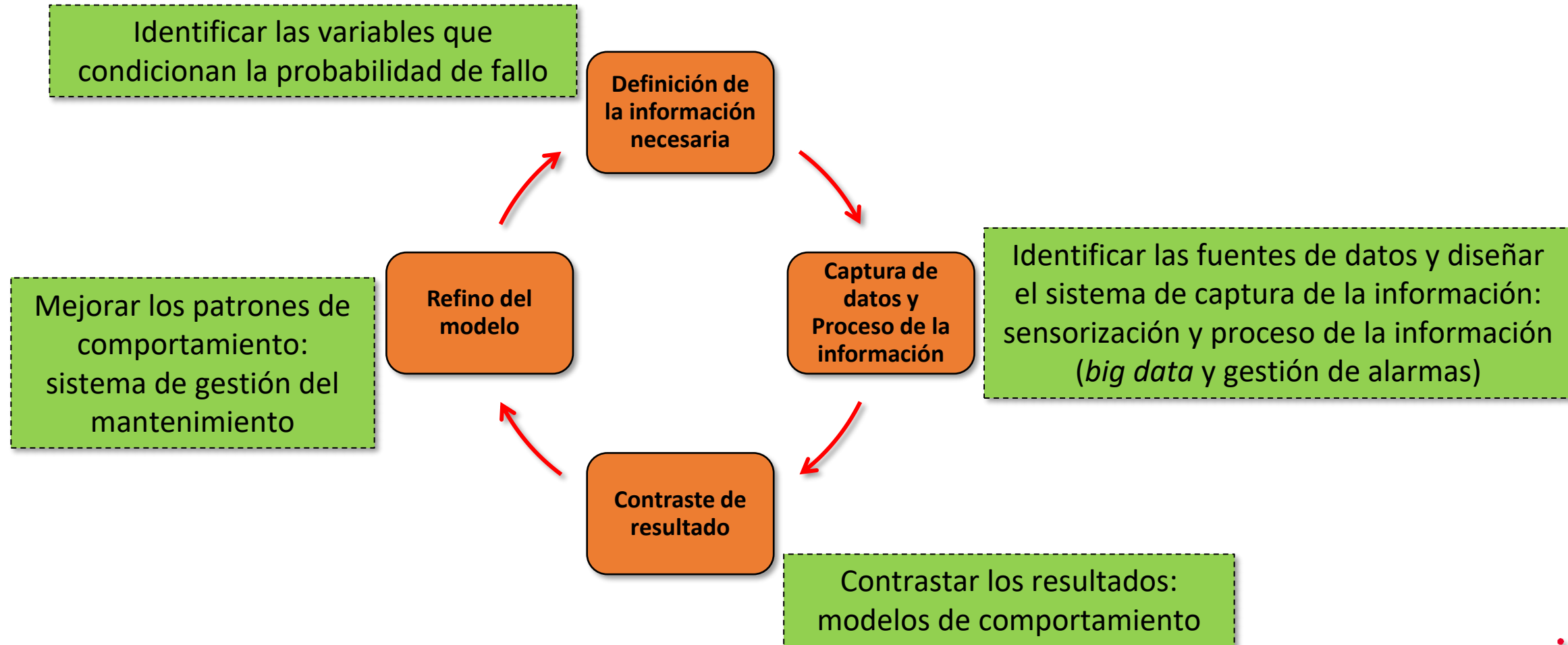


✓ Dirección de la Producción y Operaciones. Decisiones operativas. (Arias Aranda, D. y Minguela Rata, B.) Cap. 10.

## 7.2. LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

### 7.2.4. IMPLANTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

**Clave:** generación de información que nos permita calcular la probabilidad de fallo.



# TEMA 7

## MANTENIMIENTO Y FIABILIDAD



7.1. ISO 55000 Y GESTIÓN DE ACTIVOS

7.2. LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

7.2.1. TIPOS DE MANTENIMIENTO

7.2.2. COSTES DE LA ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO

7.2.3. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO POR FAMILIAS DE ACTIVOS PRODUCTIVOS

7.2.4.  IMPLANTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

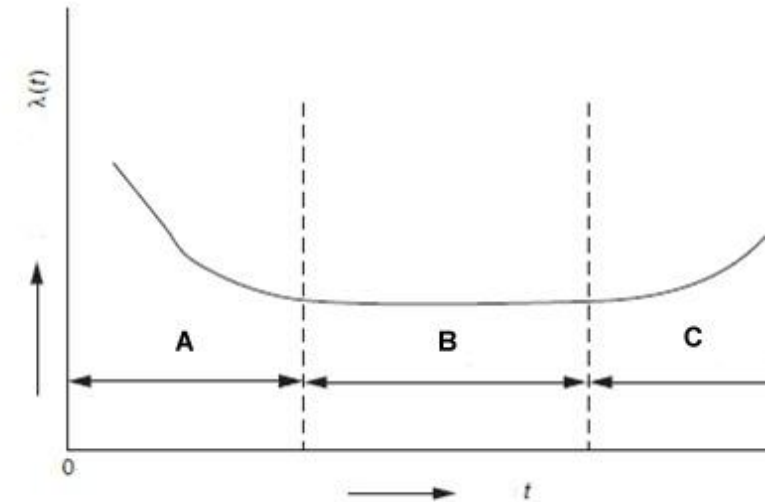
7.3. FIABILIDAD

7.3.1. FIABILIDAD Y SUBPROCESOS. FIABILIDAD DE MÚLTIPLES COMPONENTES



✓ Dirección de la Producción y Operaciones. Decisiones operativas. (Arias Aranda, D. y Minguela Rata, B.) Cap. 10.

- **Fiabilidad:** probabilidad de que un componente, máquina, proceso o producto funcionen correctamente durante un período de tiempo determinado en unas condiciones establecidas.
- Los fallos aleatorios (*hazards*) tendrán una relación con el tiempo. Con la instalación del sistema se esperan fallos iniciales que irán remitiendo con la puesta a punto (A), después se espera un período de vida útil con pocos fallos (B), para pasar finalmente a un período de senescencia (*wear-out period*) donde se espera un incremento de los fallos (C).
- A este comportamiento se le conoce como **curva en bañera**.



*Evolución de la tasa de fallos  $\lambda(t)$  en función del tiempo*



## Funciones asociadas a la fiabilidad

- La probabilidad de fallo de un elemento de la estructura productiva puede ser definida como una función de densidad de probabilidad.

- ✓ Muchos elementos mecánicos tienen una **densidad de probabilidad de fallo**:

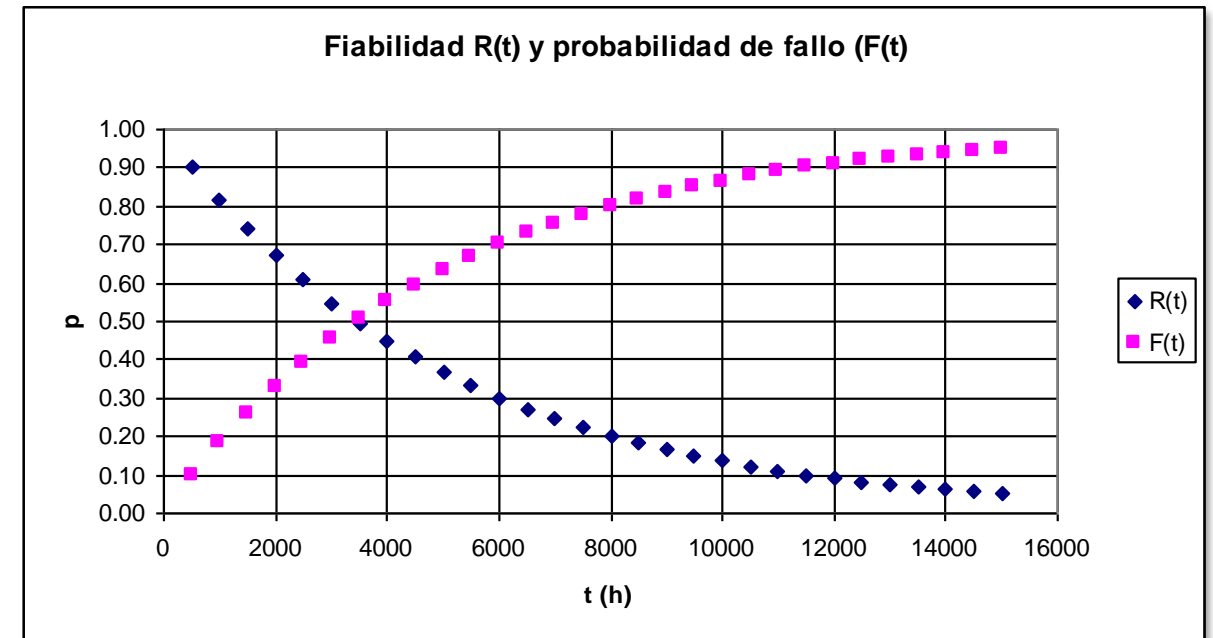
$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

- ✓ La **fiabilidad** (*reliability*) sería:

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

- ✓ La **probabilidad de fallo** sería:

$$F(t) = \int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt$$



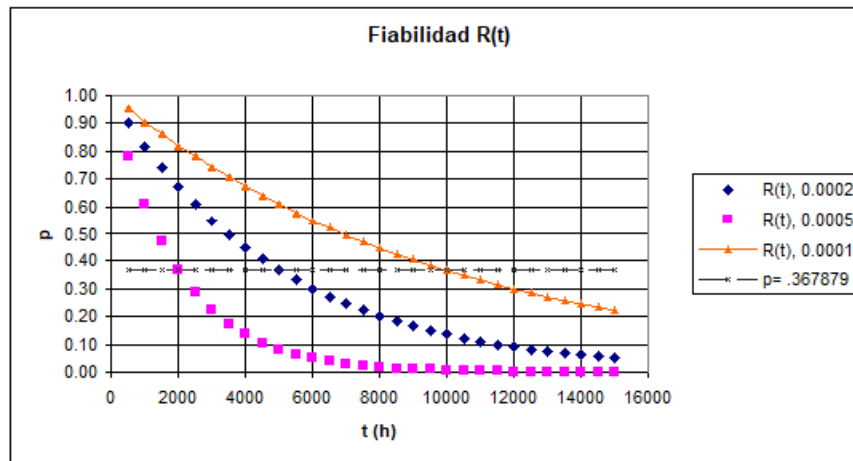
# Tiempo medio entre fallos

- La **tasa de fallos** también se podría expresar como:  $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt}$
- Para el caso que nos ocupa la **tasa de fallos en función del tiempo** sería:

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

- El **tiempo medio entre fallos** (MTBF, *mean time between failures*) sería el tiempo esperado (la media es la esperanza matemática) entre primer encendido o reparación y siguiente fallo del sistema, se podría expresar como:

$$\text{MTBF} = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$



*Evolución de la fiabilidad con el tiempo, para tres tasas de fallo diferentes y la probabilidad asociada al tiempo medio entre fallos.*

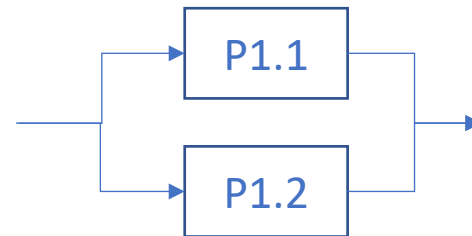
## Fiabilidad multicomponente

- Un proceso productivo depende de varios sub-procesos, y esto afecta radicalmente a la fiabilidad. Las redes de procesos son de tres tipos fundamentales:

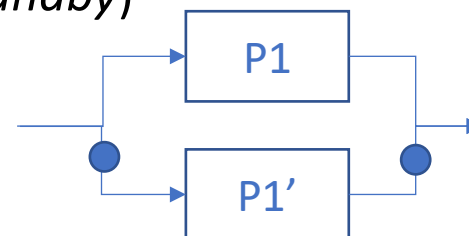
➤ **En serie**



➤ **En paralelo**



➤ **En espera (*standby*)**



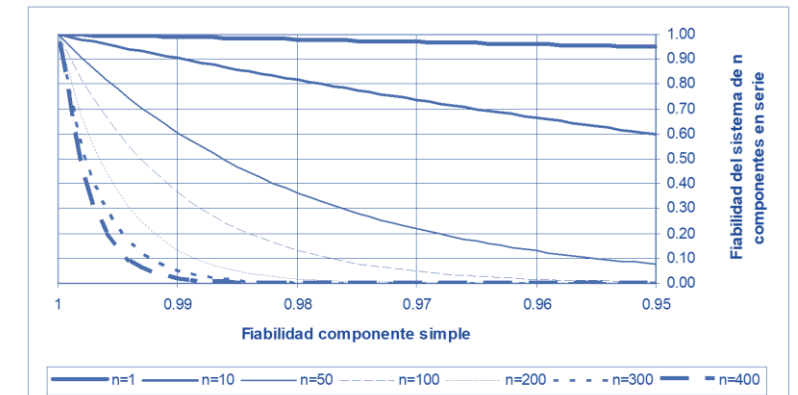
## Fiabilidad de componentes en serie

- El sistema en serie funciona si funcionan todos sus componentes.
- Como la fiabilidad es la probabilidad de que no haya fallos en los componentes, la fiabilidad total del conjunto de unos componentes en serie (en cadena o simultáneos) será:  $R_s = \prod_{i=1}^n R_i$ 
  - ✓  $R_s$  es la fiabilidad total del sistema en serie,  $n$  es el número de componentes y  $R_i$  es la fiabilidad de cada componente.
- Para elementos con modelos de densidad de probabilidad de fallo exponencial,  $R_i(t) = e^{-\lambda_i t}$ , la fiabilidad del conjunto sería  $R_s(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t}$
- De donde  $\lambda_s(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i$  y  $MTBF_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$



Como se trata de un producto, la fiabilidad total bajará rápidamente con el número de componentes

Mejora de fiabilidad: reducir componentes o aumentar fiabilidad individual



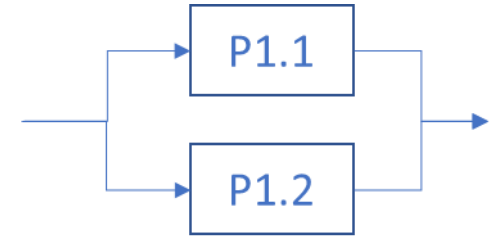
## Fiabilidad de componentes en paralelo

- El sistema en paralelo falla si todos sus componentes fallan.
- La fiabilidad de un sistema paralelo sería 1 menos la probabilidad de fallo del sistema:  

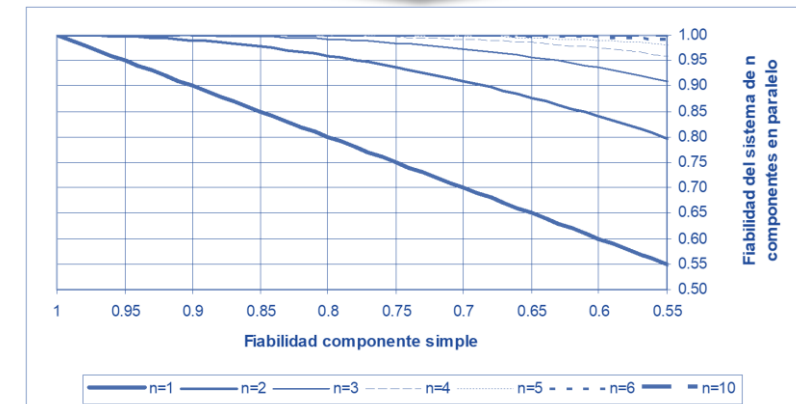
$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$
  - $R_p$  es la fiabilidad total del sistema,  $n$  es el número de componentes en paralelo y  $R_i$  es la fiabilidad de cada componente.
- Para elementos con modelos de densidad de probabilidad de fallo exponencial, la fiabilidad del conjunto sería:

$$R_p(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^n$$

$$MTBF_p = \int_0^{\infty} [1 - (1 - e^{-\lambda t})^n] dt = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i}$$



La fiabilidad total aumentará rápidamente con el número de componentes, aunque la fiabilidad individual no sea muy alta



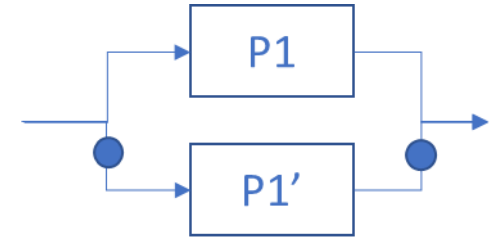
## Fiabilidad de componentes en espera

- En este caso tenemos una unidad en uso y k en espera que entran en funcionamiento cuando las unidades anteriores fallan.
- Para considerar a un sistema en espera:
  - ✓ el mecanismo de desconexión-conexión de unidades ha de ser perfecto.
  - ✓ todas las unidades han de ser independientes e idénticas.
  - ✓ las unidades en espera han de permanecer como nuevas en cuanto a su fiabilidad (no sufren deterioro por no funcionar).
  - ✓ la tasa de fallos no ha de ser constante y podrá ser representada por una función de distribución.
- La fiabilidad de un sistema en espera será:

$$R_e(t) = \sum_{i=0}^k \frac{\left[ \int_0^t \lambda(t) dt \right]^i e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}}{i!}$$

- Para elementos con modelos de densidad de probabilidad de fallo exponencial, la fiabilidad del conjunto sería:

$$Re(t) = \sum_{i=0}^k \frac{(\lambda t)^i e^{\lambda t}}{i!} \text{ y } MTBF_e = \int_0^{\infty} \frac{\sum_{i=0}^k (\lambda t)^i e^{\lambda t}}{i!} dt = \frac{k+1}{\lambda}$$



Si podemos asegurar las condiciones, un sistema en espera tendrá mayor MTBF que uno equivalente en paralelo

