



# **CAPÍTULO 17:**

## **Gestión de**

## **Mantenimiento de**

## **la Empresa**

**ADMINISTRACIÓN DE LAS OPERACIONES PRODUCTIVAS**

**Un Enfoque en Procesos para la Gerencia**

**Fernando A. D'Alessio Ipinza**

- 1. Introducción**
- 2. Objetivos del mantenimiento**
- 3. Aspectos fundamentales del mantenimiento**
- 4. Sistemas de mantenimiento**
- 5. Logística del mantenimiento**
- 6. Renovación de activos productivos**
- 7. Costos del mantenimiento**
- 8. Sistemas informáticos de mantenimiento**
- 9. Lucro cesante**
- 10. Depreciación**



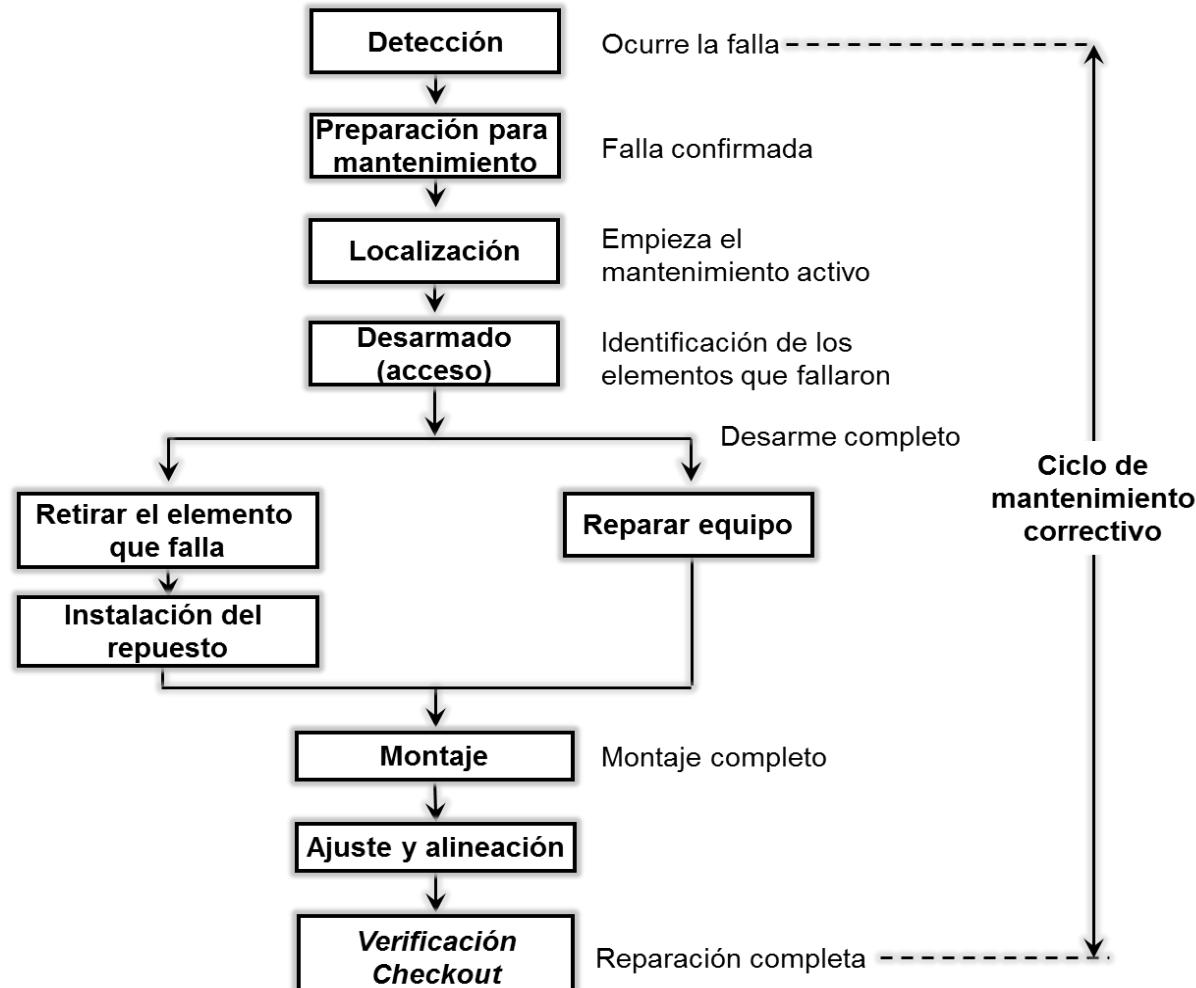
# 1. Introducción

**Mantenimiento preventivo:** se efectúa para obtener un adecuado funcionamiento de los activos productivos y minimizar su probabilidad de falla, por medio de: mantenimiento predictivo, mantenimiento programado, mantenimiento mejorativo y mantenimiento integral. Es un costo indirecto.

**Mantenimiento correctivo:** se ejecuta después de la ocurrencia de una falla; es decir, son acciones no programadas que se llevan a cabo como resultado de una avería, a fin de restaurar un sistema a su nivel óptimo de desempeño. Realmente no es un mantenimiento sino una reparación y es un gasto.



## Flujograma del Mantenimiento Correctivo (Reparación)

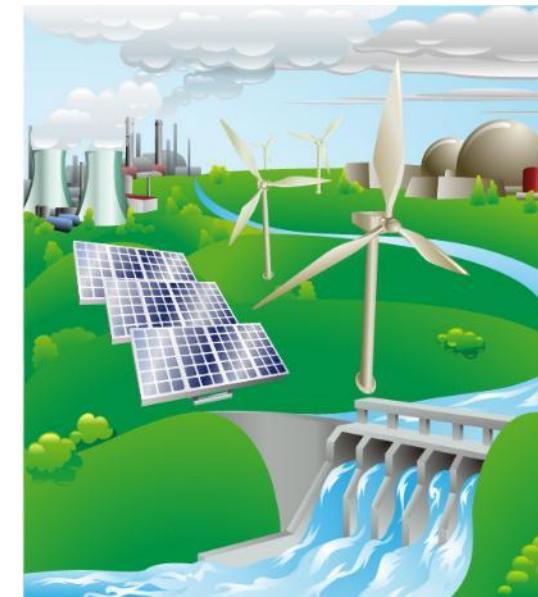


Blanchard (2004)

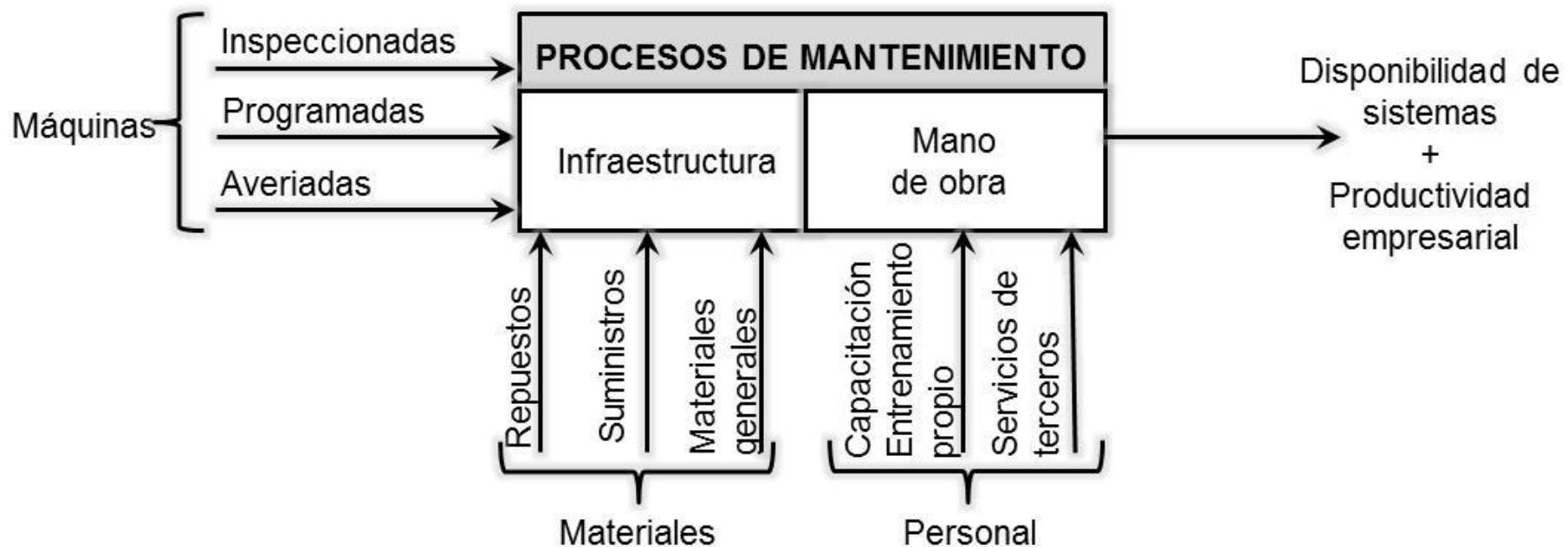


# 1. Introducción

## Procesos Productivos de la Empresa



## Proceso de Mantenimiento como Proceso Productivo



## 2. Objetivos del Mantenimiento

- Preservar el activo fijo productivo, reducir su depreciación física y prolongar el momento de su renovación.
- Evitar las paradas imprevistas, no programadas de la producción.
- Eliminar las mermas y los productos defectuosos, para preservar la calidad del proceso.
- Eliminar los daños consecuenciales de las averías de las máquinas, en la máquina en sí y en su sistema, en el proceso de transformación y en el personal que las opera.
- Eliminar los altos costos de las reparaciones ocasionadas por las averías.



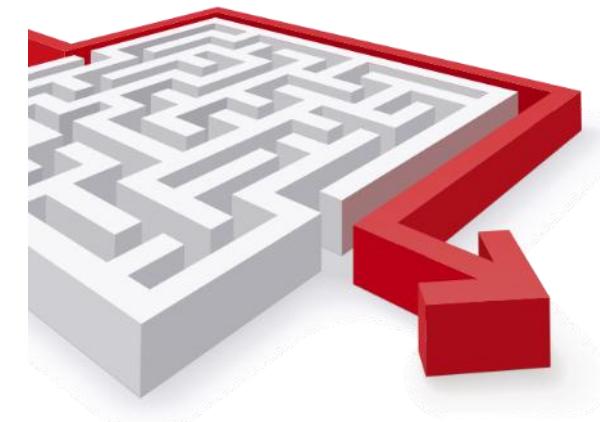
## 2. Objetivos del Mantenimiento

- Reducir los altos costos de los excesivos inventarios.
- Reducir los costos de servicios de terceros, mediante un uso eficiente del escaso y valioso recurso humano propio.
- Reducir los costos de energía por pérdidas en los sistemas o por el mal uso operativo de las máquinas.
- Mantener la disponibilidad de los sistemas y sus máquinas en apoyo al proceso productivo.



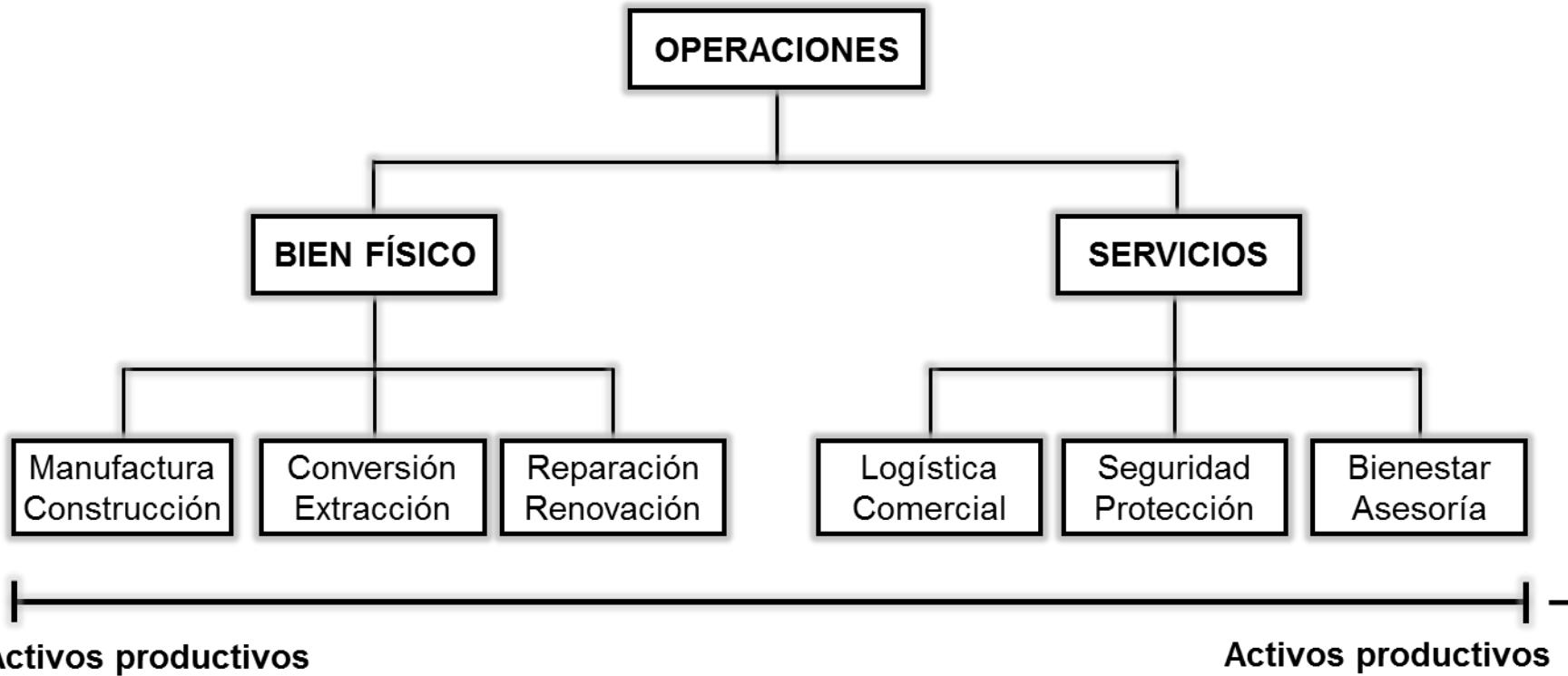
### 3. Aspectos Fundamentales del Mantenimiento

1. Las operaciones de la empresa, sean productoras de bienes físicos o de servicios.
2. Los procesos de transformación, por su tecnología y frecuencia de producción.
3. La ubicación dentro de la organización y el dimensionamiento del área de mantenimiento.
4. La incidencia del entorno en la oferta de recursos financieros, materiales y humanos, y en la demanda del proceso.
5. La política organizacional sobre productividad empresarial.



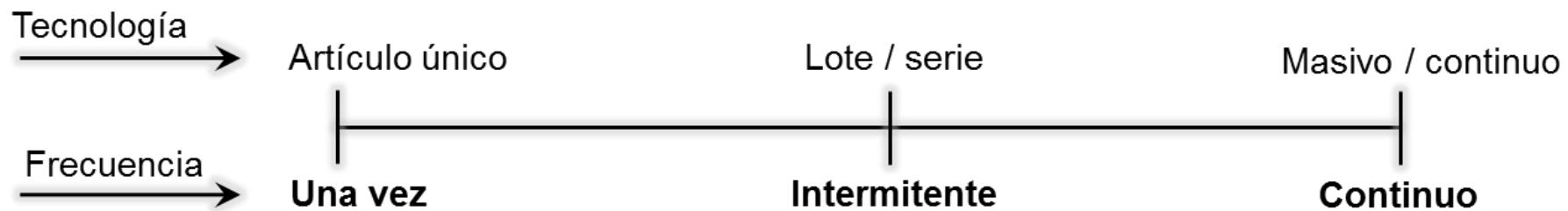
### 3. Aspectos Fundamentales del Mantenimiento

## Las Empresas según sus Operaciones y Activos Productivos



### 3. Aspectos Fundamentales del Mantenimiento

## Las Empresas según la Tecnología y Frecuencia Productiva



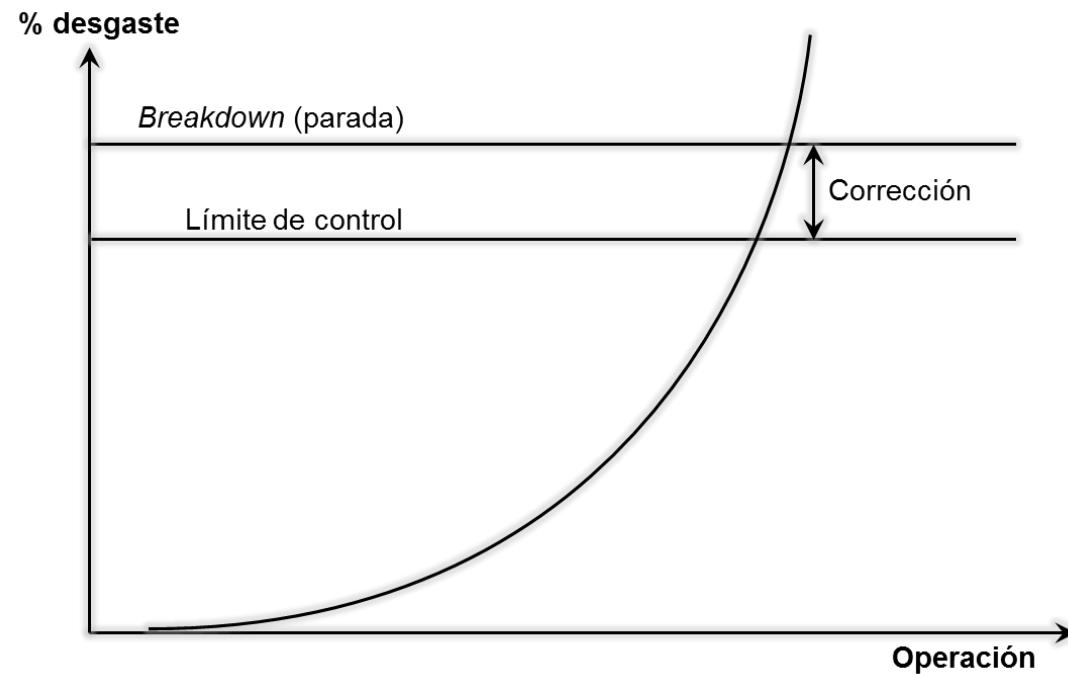
## Clasificación de Acciones por Tipo de Mantenimiento

Preventivo y periódico programado	Predictivo/basado en la condición	Correctivo/basado en la demanda Averías/reparaciones	Ingeniería/control y evaluación de fallas	
<ul style="list-style-type: none"><li>● Inspección</li><li>● Alineamiento</li><li>● Rellenado</li><li>● Cargado</li><li>● Limpieza</li><li>● Pérdidas</li><li>● Drenaje, respiradero, secado</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Lubricación</li><li>● Balanceo</li><li>● Rehabilitación y reparación</li><li>● Recambio</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Monitoreo y vigilancia</li><li>● Inspección (on/off line)</li><li>● Rehabilitación y reparación</li><li>● Recambio</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Inspección y análisis de la falla</li><li>● Reparación</li><li>● Recambio</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Inspección y análisis de fallas</li><li>● Identificación de puntos débiles</li><li>● Modificación en procedimiento de operación, mantenimiento y diseño</li><li>● Estadísticas: MTBF, MTTR</li></ul>



## Mantenimiento Predictivo

Se basa en el monitoreo regular de los equipos mediante instrumentos, y controla primordialmente su estado de funcionamiento; la intervención para la reparación del equipo se producirá cuando se hayan alcanzado los límites de control del mismo.



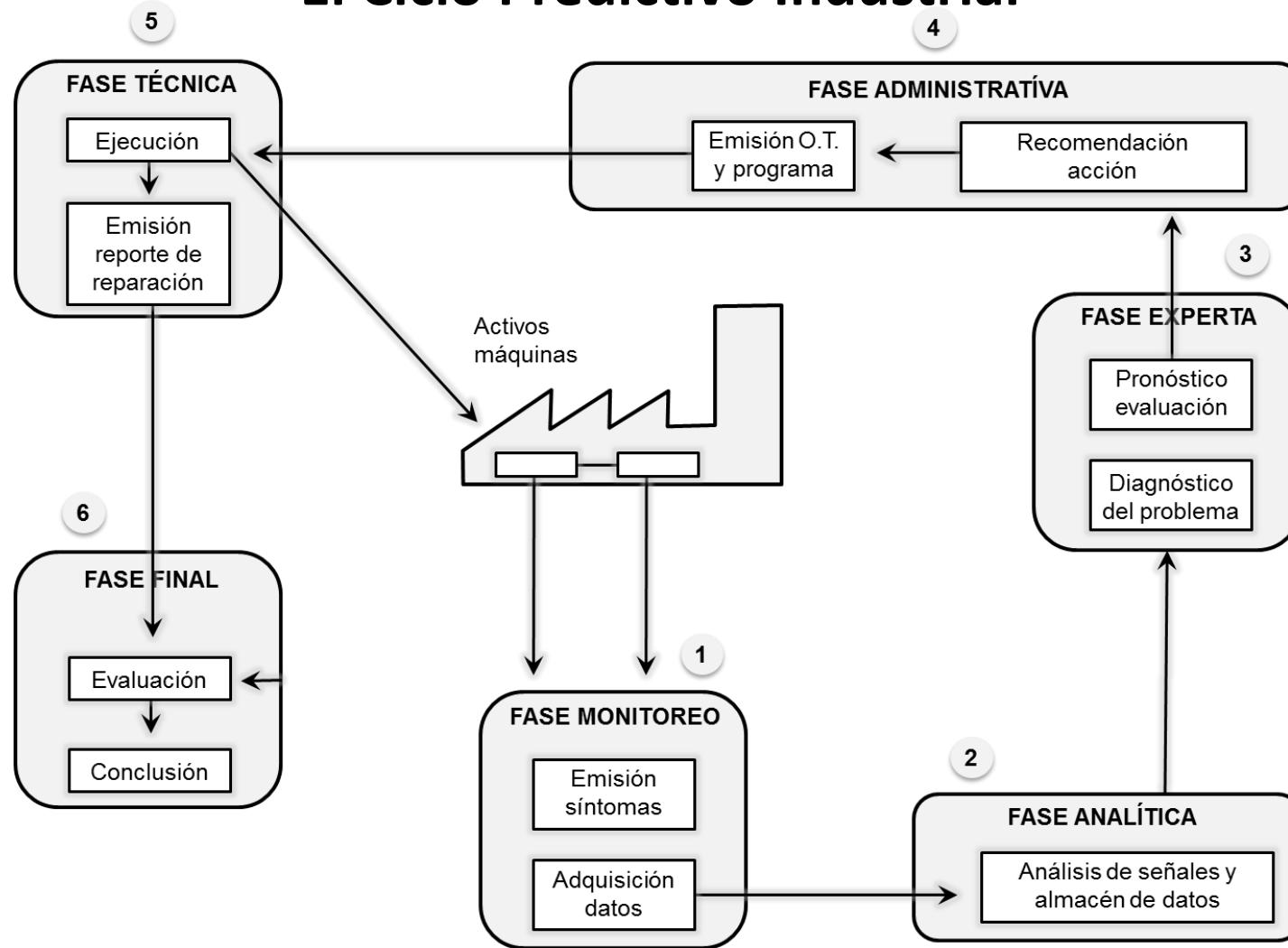
## Beneficios del Mantenimiento Predictivo

- Máxima vida útil de los componentes de una máquina o de un equipo.
- Tiene todas las ventajas del mantenimiento preventivo programado.
- Elimina pérdidas de producción.
- Elimina la necesidad de una inspección periódica programada para el equipo.
- Reduce las horas extras de mantenimiento.
- Detecta problemas serios en los equipos.
- Reduce las paradas imprevistas.
- Se conoce con precisión cuándo y qué debe cambiarse en la máquina, mejorando el manejo de repuestos.
- Aumenta la confiabilidad y disponibilidad de las máquinas.



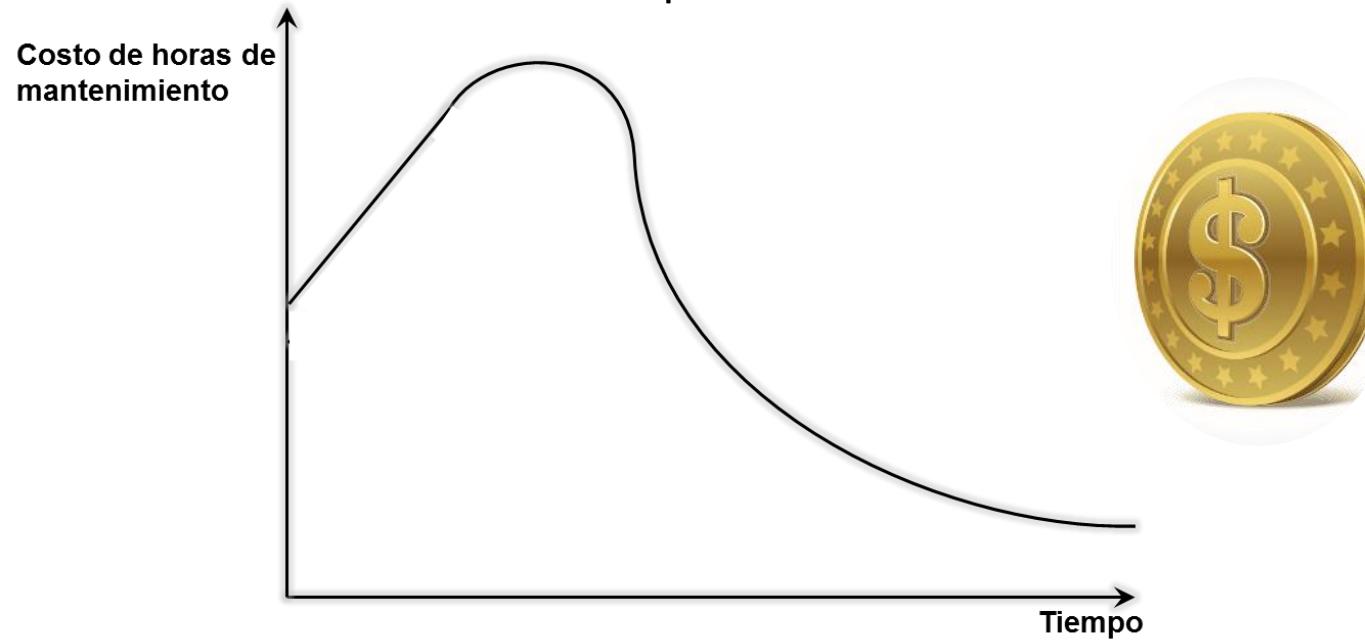
# 4. Sistemas de Mantenimiento

## El Ciclo Predictivo Industrial



## Costo del Mantenimiento Predictivo

- Personal.
- Repuestos, materiales y suministros.
- Servicios de terceros.
- Adquisición de maquinarias y equipos para mantenimiento.



## Mantenimiento en Línea (*on-line*)

- El mantenimiento *en línea* se basa en establecer un sistema de información que permita monitorear de forma interactiva un conjunto de máquinas en operación.
- El mantenimiento en línea complementa el análisis periódico del mantenimiento predictivo por un monitoreo continuo de equipos críticos, a través de un sistema de procesamiento de datos interactivo y de acceso centralizado.



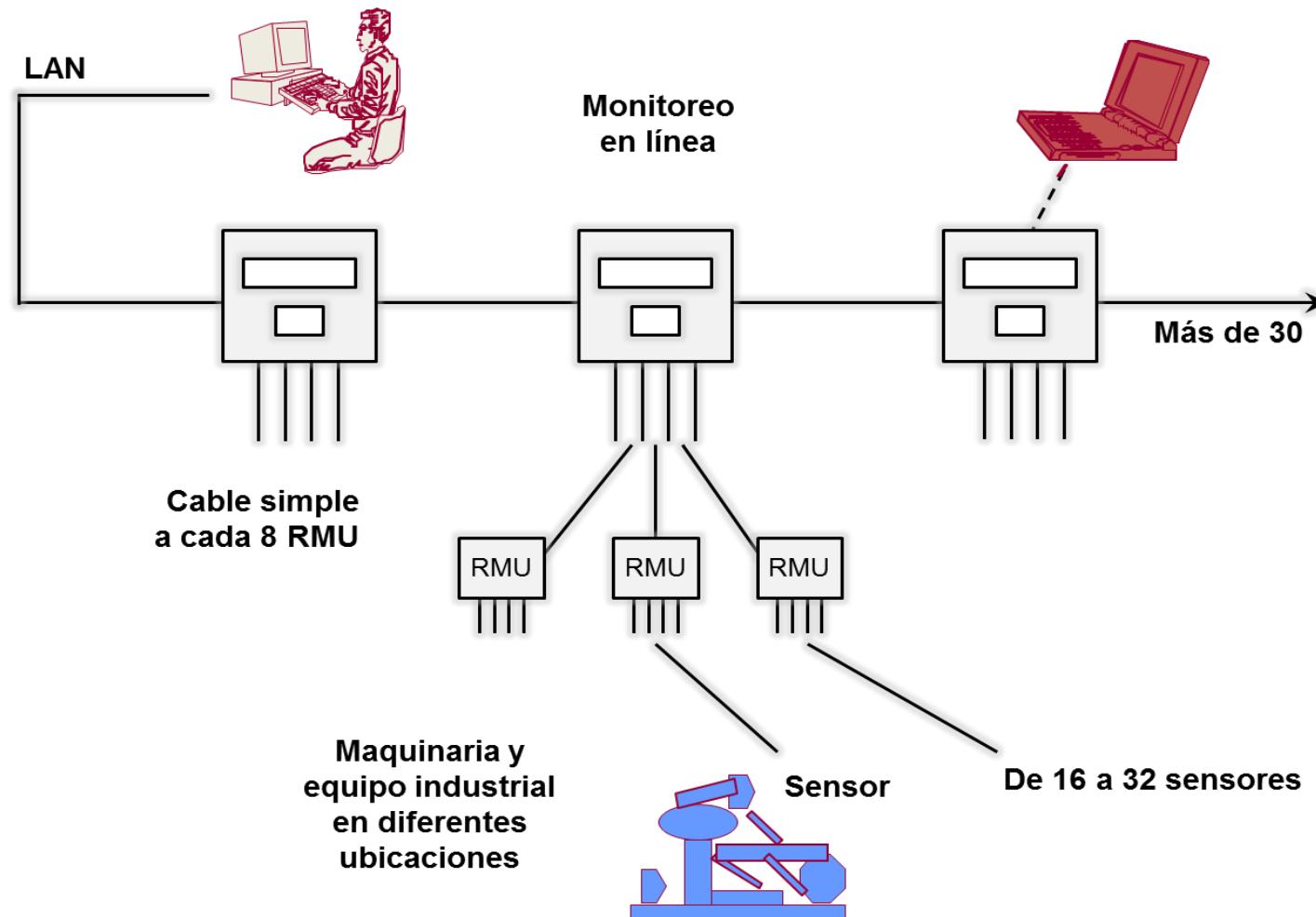
## Características que pueden monitorearse:

- Turnos semanales de trabajo de los operadores.
- Creación de cualquier orden de trabajo.
- Programación de las reparaciones e inspecciones de mantenimiento preventivo.
- Reportes del estado de las máquinas, sin interrumpir su funcionamiento.
- Control de las órdenes de trabajo en cualquier momento.
- Reportes de los equipos que han sido sometidos a trabajo excesivo.
- Registros históricos de los equipos.
- Tiempo promedio entre fallas y tiempo promedio de falla total de los equipos.
- Informes de análisis de cualquier falla en el momento en que se produce.
- Relación entre el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo.
- Inventarios de equipos.



## 4. Sistemas de Mantenimiento

### Ejemplo Conceptual de un Sistema de Mantenimiento en Línea



**La detección temprana de fallas tiene impacto en tres áreas fundamentales:**

1. Prevención de pérdidas por partes defectuosas.
2. Prevención de daños colaterales o consecuenciales.
3. Prevención de pérdidas de producción durante el tiempo muerto necesario para la obtención de repuestos.



## Materiales para el Mantenimiento

**Repuestos.** Los repuestos pueden clasificarse en repuestos y piezas de alto consumo, o de uso regular, que se caracterizan por una vida útil más breve que la máquina en su conjunto



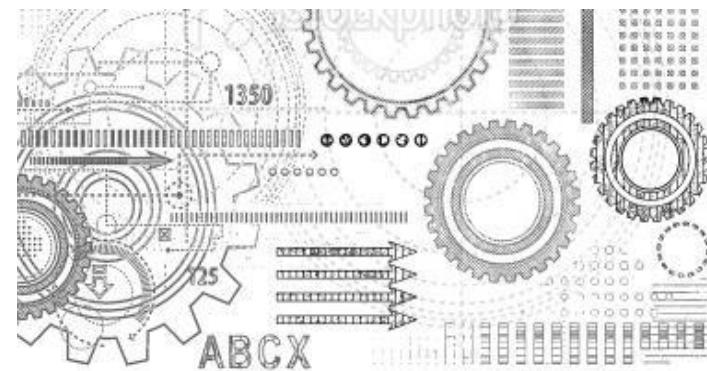
**Suministros.** Los suministros normalmente son de uso regular y se consumen con frecuencia.

**Materiales generales.** Los materiales generales son de uso irregular; su consumo es aleatorio y su uso no predecible, pero de suma importancia, debido a que si no se tuvieran en un momento dado generarían problemas en el mantenimiento de la planta.



## Elementos de Apoyo Logístico

1. **Equipos de prueba, trabajo y calibración**
2. **Suministro de materiales**
3. **Personal y entrenamiento**
4. **Información técnica**
5. **Facilidades físicas de la planta**
6. **Transporte y manipulación**
7. **Plan de mantenimiento**

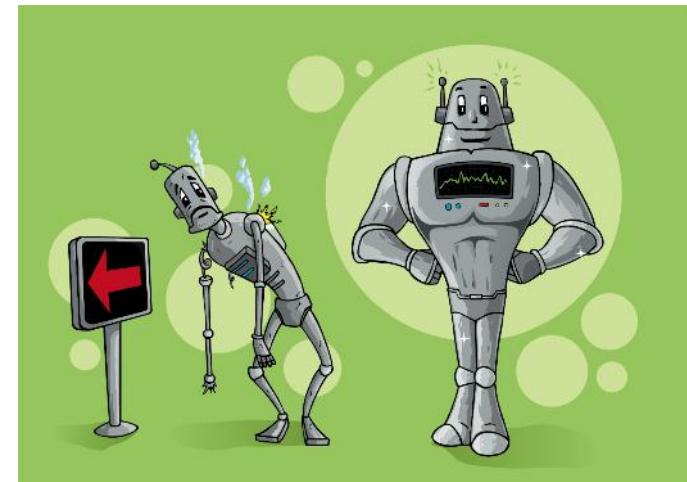


## Confiabilidad

Es la probabilidad de que un equipo funcione el máximo tiempo posible sin fallar, operado en condiciones estándar de trabajo. Es decir, la probabilidad de no falla de un equipo.

### Parámetros de la confiabilidad:

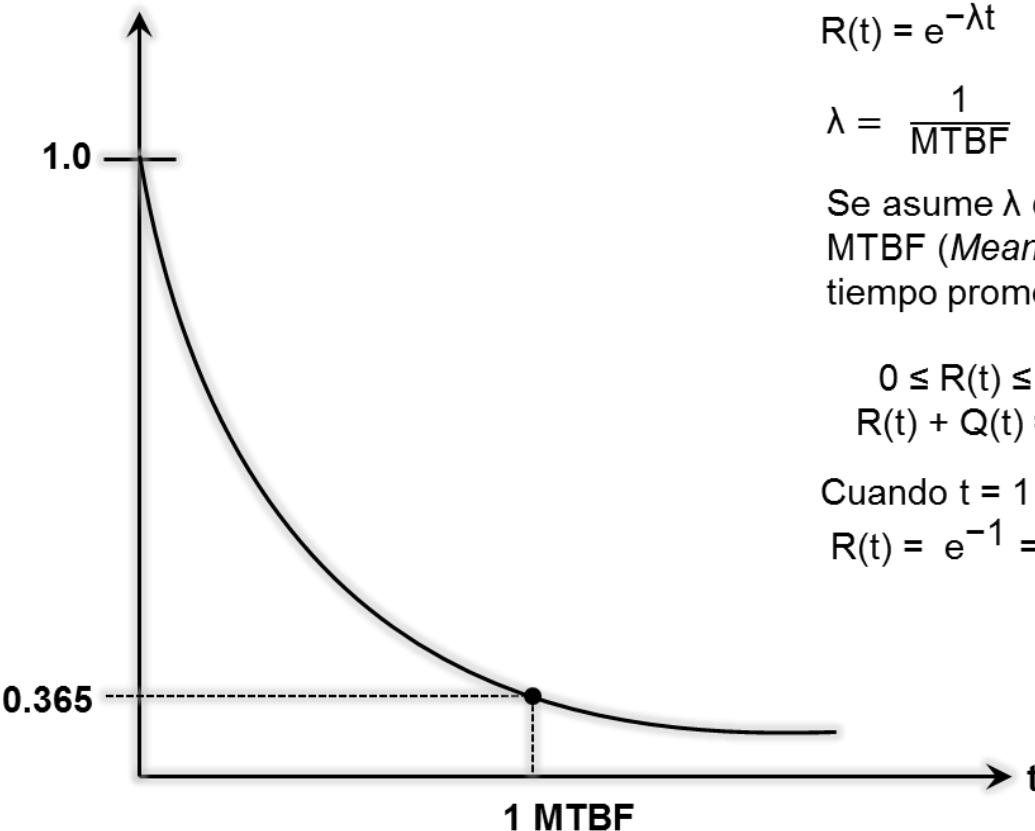
- Fallas.
- Régimen de fallas.
- Datos de los regímenes de fallas.
- Tiempos de reparación.
- Intervalos de tiempo entre inspecciones.



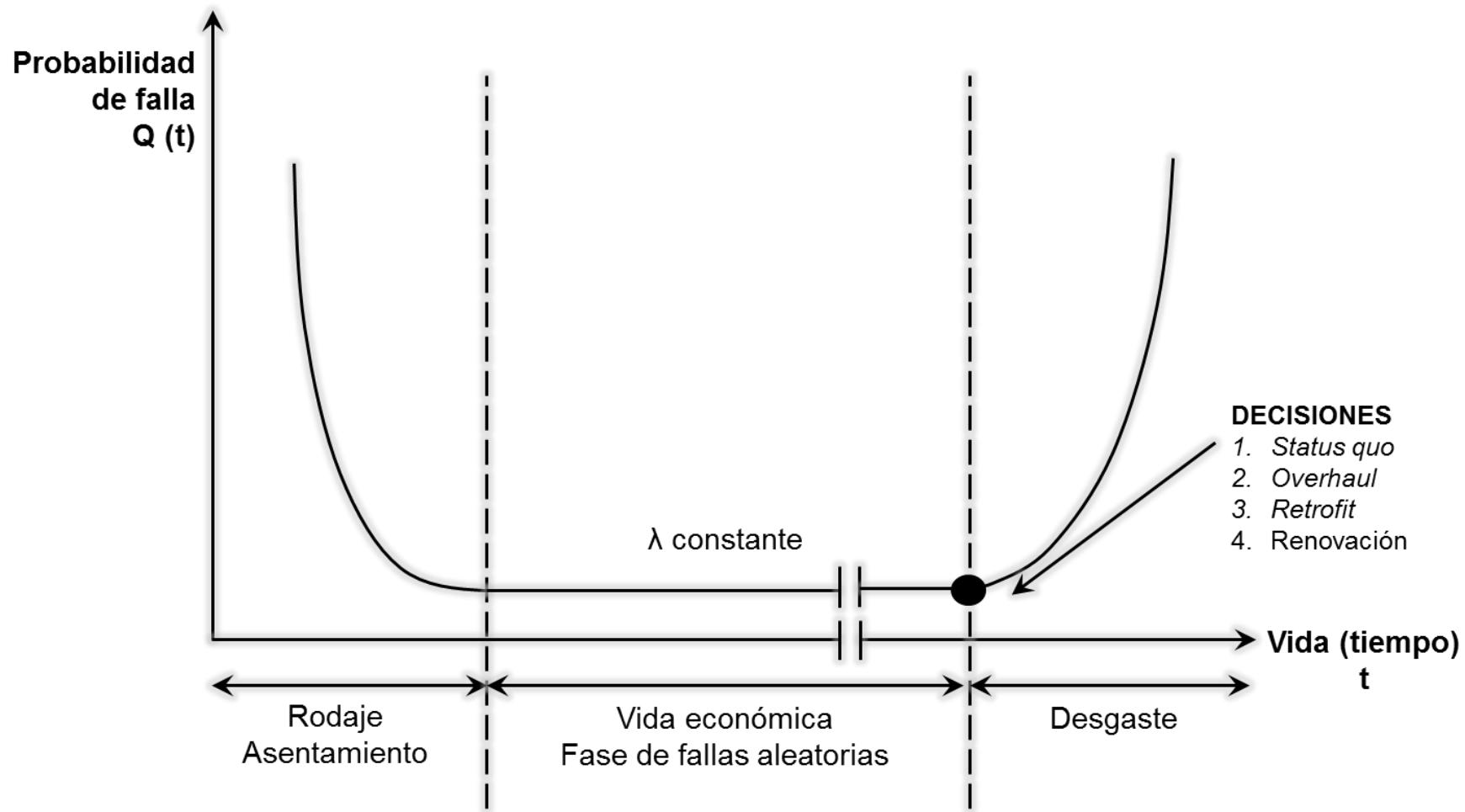
# 5. Logística del Mantenimiento

## Curva de Confiabilidad

Probabilidad de no falla  
 $R(t)$



## Ciclo de Vida Técnico de una Máquina (Activo)

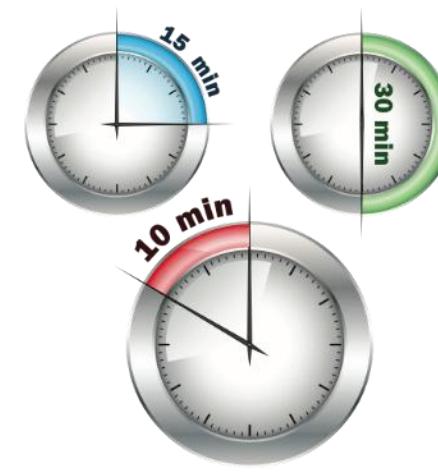


## Mantenibilidad

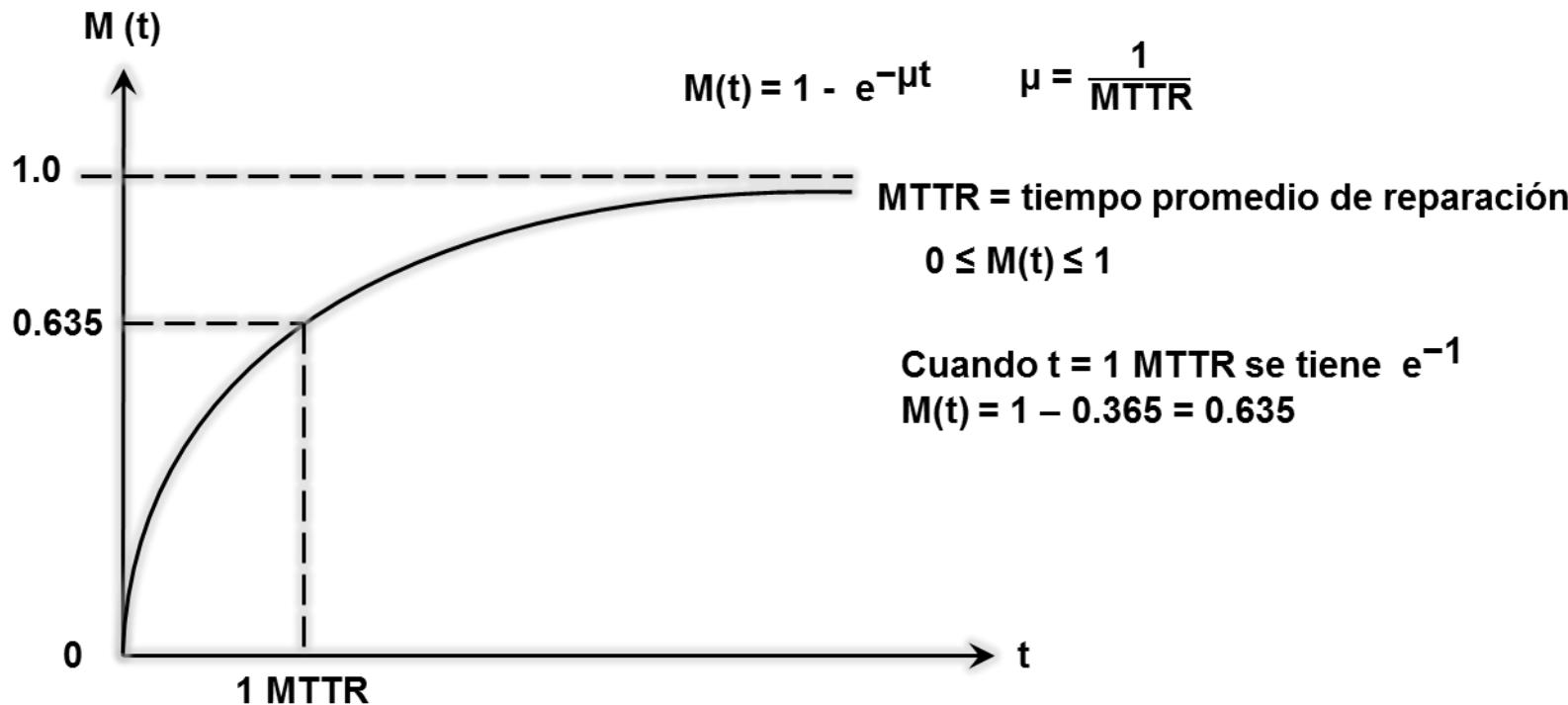
Es la probabilidad de que un equipo que ha fallado sea reparado en el menor tiempo posible en condiciones estándar de trabajo. Es una característica del diseño que relaciona la facilidad, exactitud, seguridad y economía en el comportamiento de las funciones de mantenimiento.

El **MTTR (Mean Time To Repair)** es un valor compuesto que representa el promedio aritmético de los tiempos individuales de mantenimiento, e incluye:

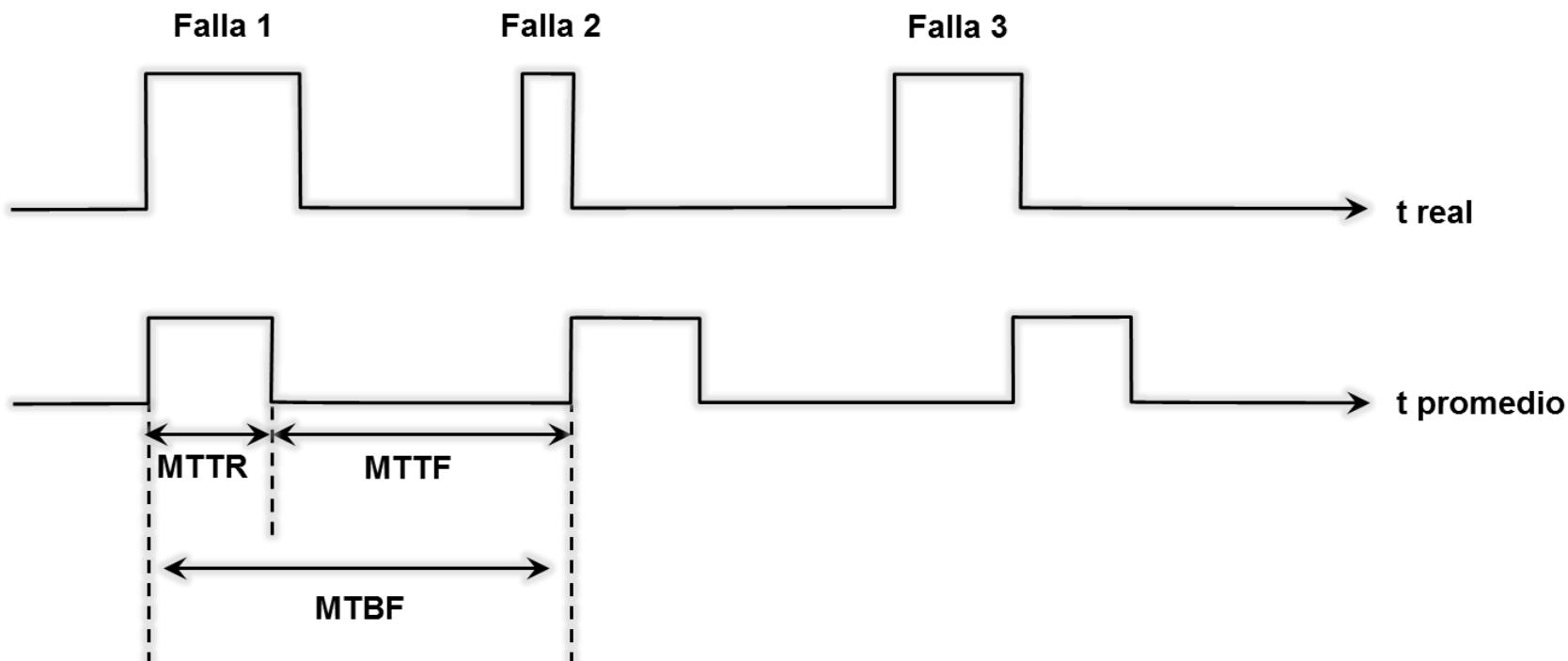
- El tiempo de diagnóstico de la falla.
- El tiempo de desmontaje.
- El tiempo logístico de abastecimiento del repuesto y del material necesario para la reparación.
- El tiempo de montaje
- El tiempo de prueba.



## Curva de Mantenibilidad



## Diagrama del Tiempo Real y Promedio



$$MTTF = MTBF - MTTR$$

MTTF = Tiempo promedio para volver a fallar

Disponibilidad

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$



## Los Tiempos de Reparación son Gobernados por una Serie de Factores

- Disponibilidad de mano de obra y repuestos.
- El momento del día o de la noche en que ocurre la falla.
- El tiempo que se toma en identificar y diagnosticar la naturaleza de la falla.
- El efecto de las condiciones de trabajo.
- El tiempo medio para reparar (MTTR) se obtiene de:
- La información y los datos registrados para reparaciones similares en otros equipos similares.
- Experiencia de los operarios.
- Los estudios prácticos y teóricos.

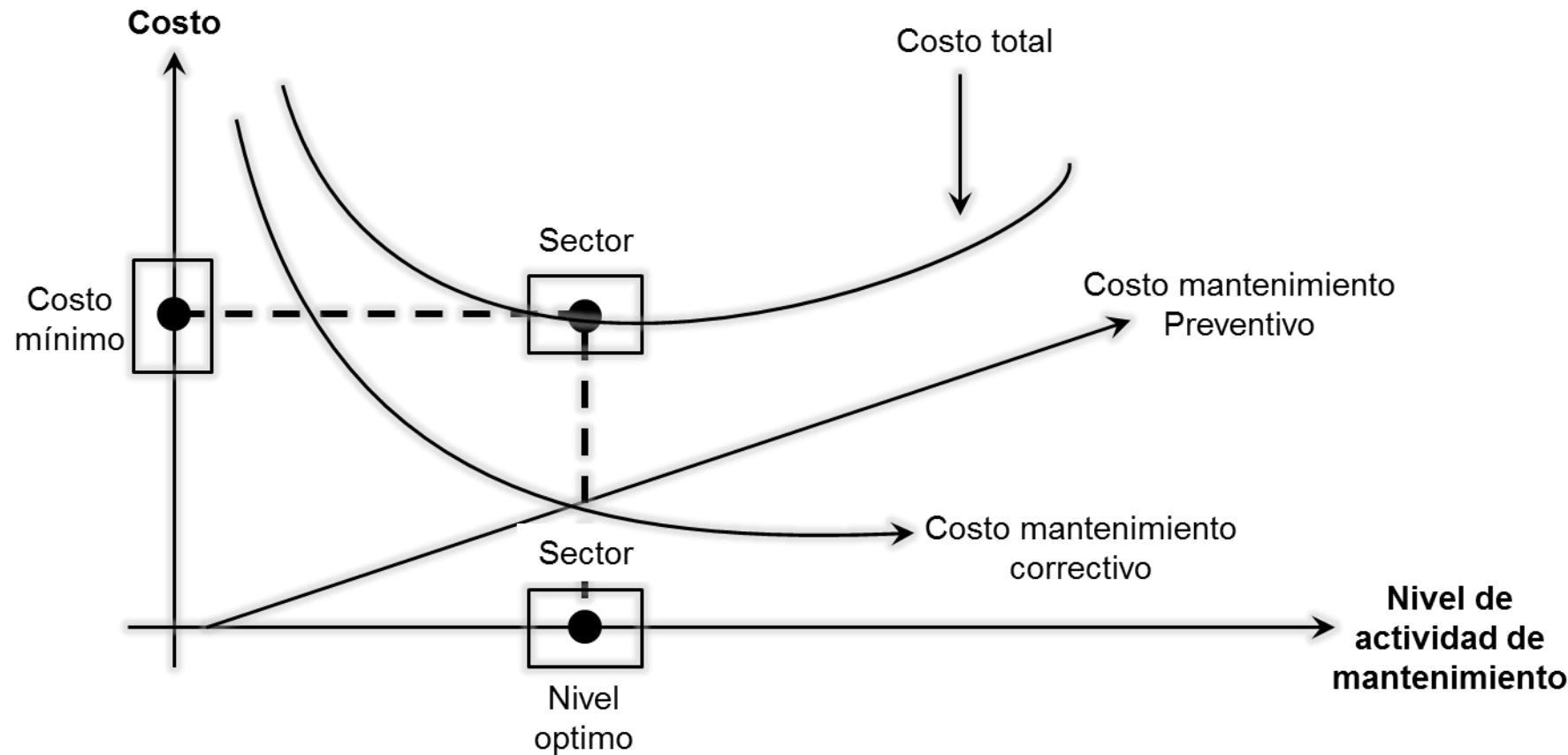


## Renovación de Equipos

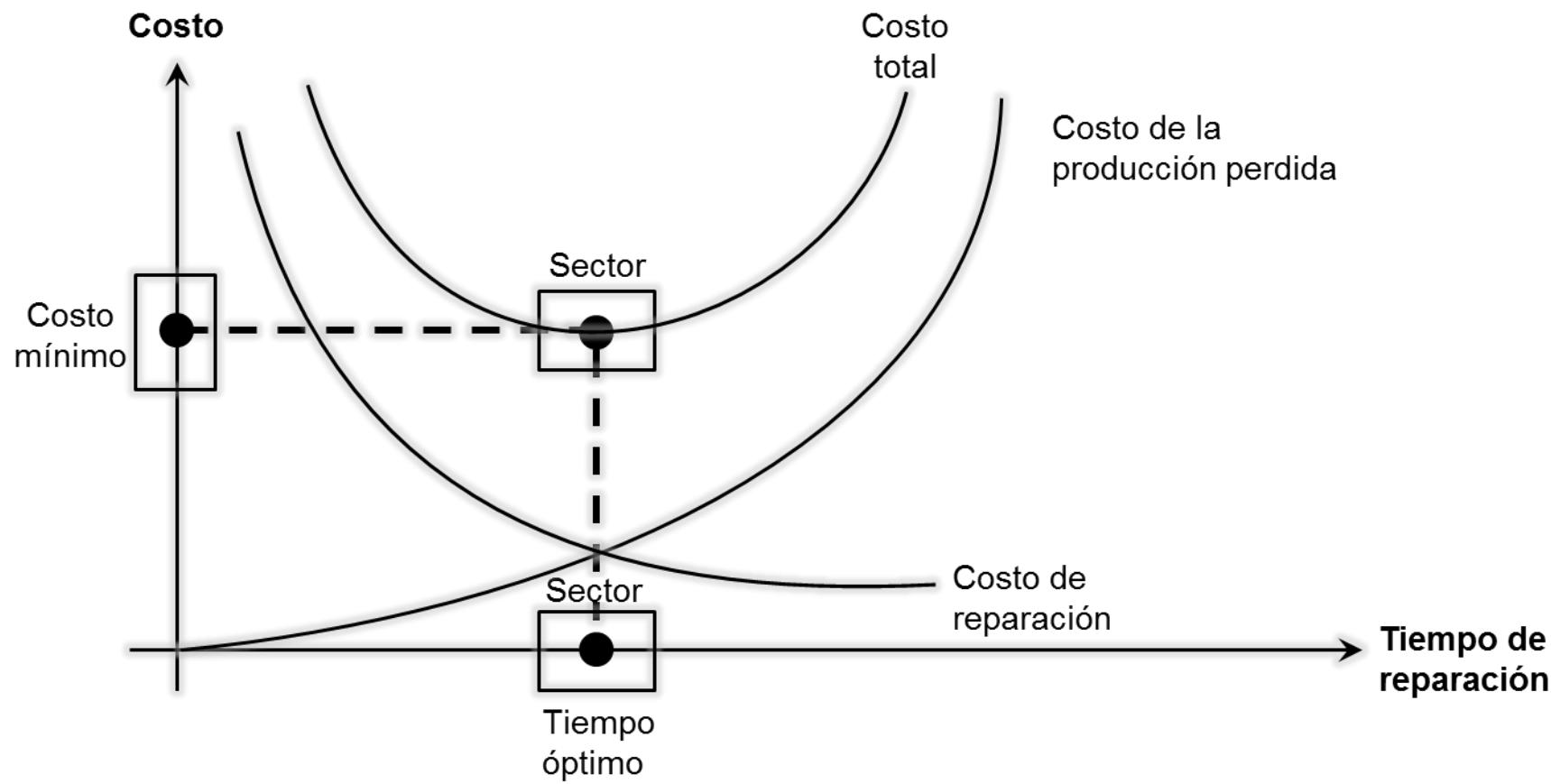
EQUIPO ACTUAL	EQUIPO PROPUESTO
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Su vida estimada.</li> <li>■ Su valor remanente.</li> <li>■ Los beneficios que producirá en lo que le queda de vida.</li> <li>■ Los gastos en que se incurra en lo que le queda de vida.</li> <li>■ Los fondos disponibles en reserva por depreciación.</li> <li>■ Razones de su reemplazo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ El precio de compra.</li> <li>■ Su vida estimada.</li> <li>■ Su valor remanente en las futuras etapas de su vida.</li> <li>■ Los ingresos que producirá.</li> <li>■ Los gastos en que incurrirá.</li> <li>■ Fondos disponibles.</li> <li>■ Las razones para ser escogido.</li> </ul>



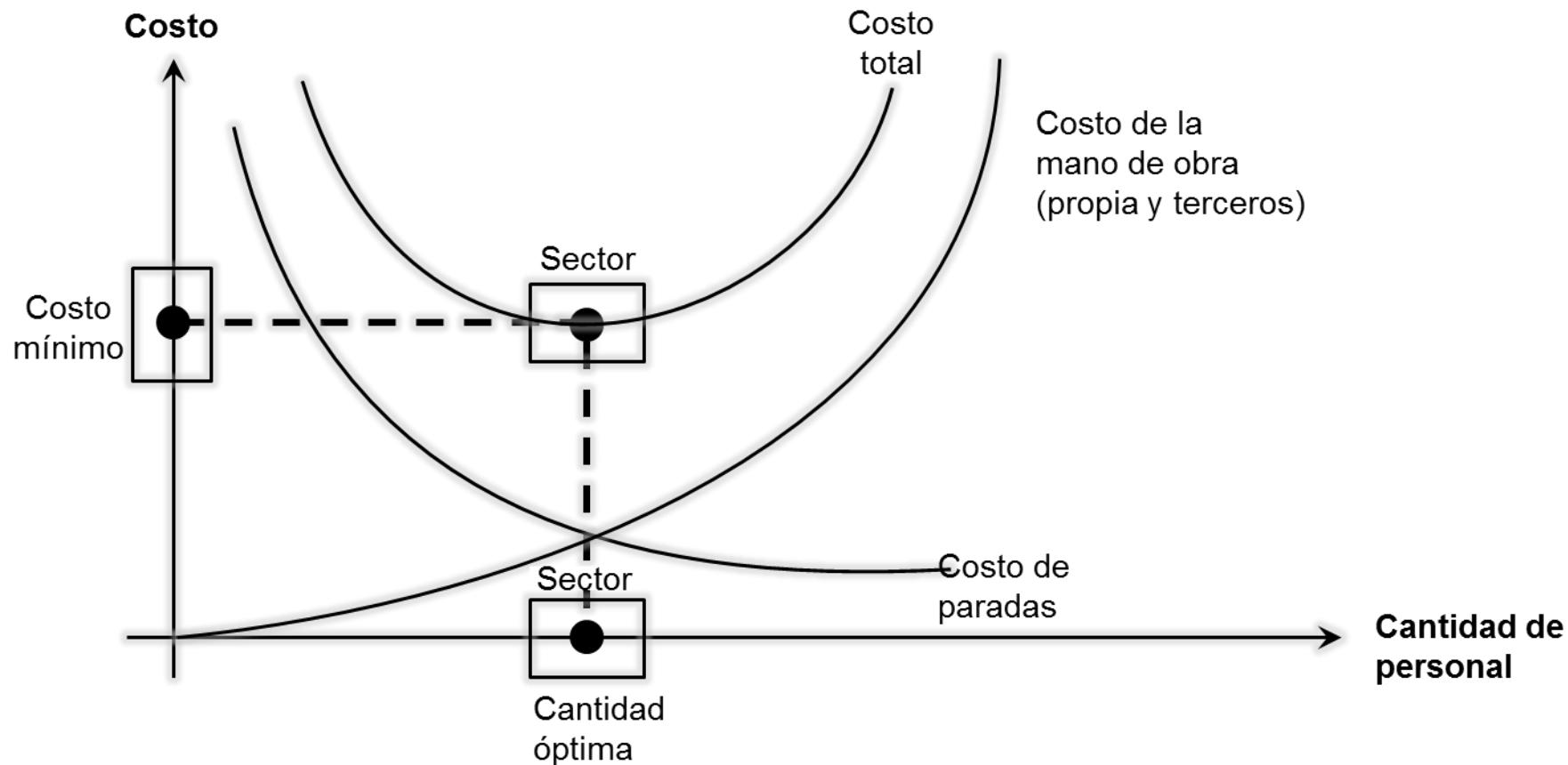
## Costos del Nivel de la Actividad de Mantenimiento



## Costos del Tiempo de Reparación

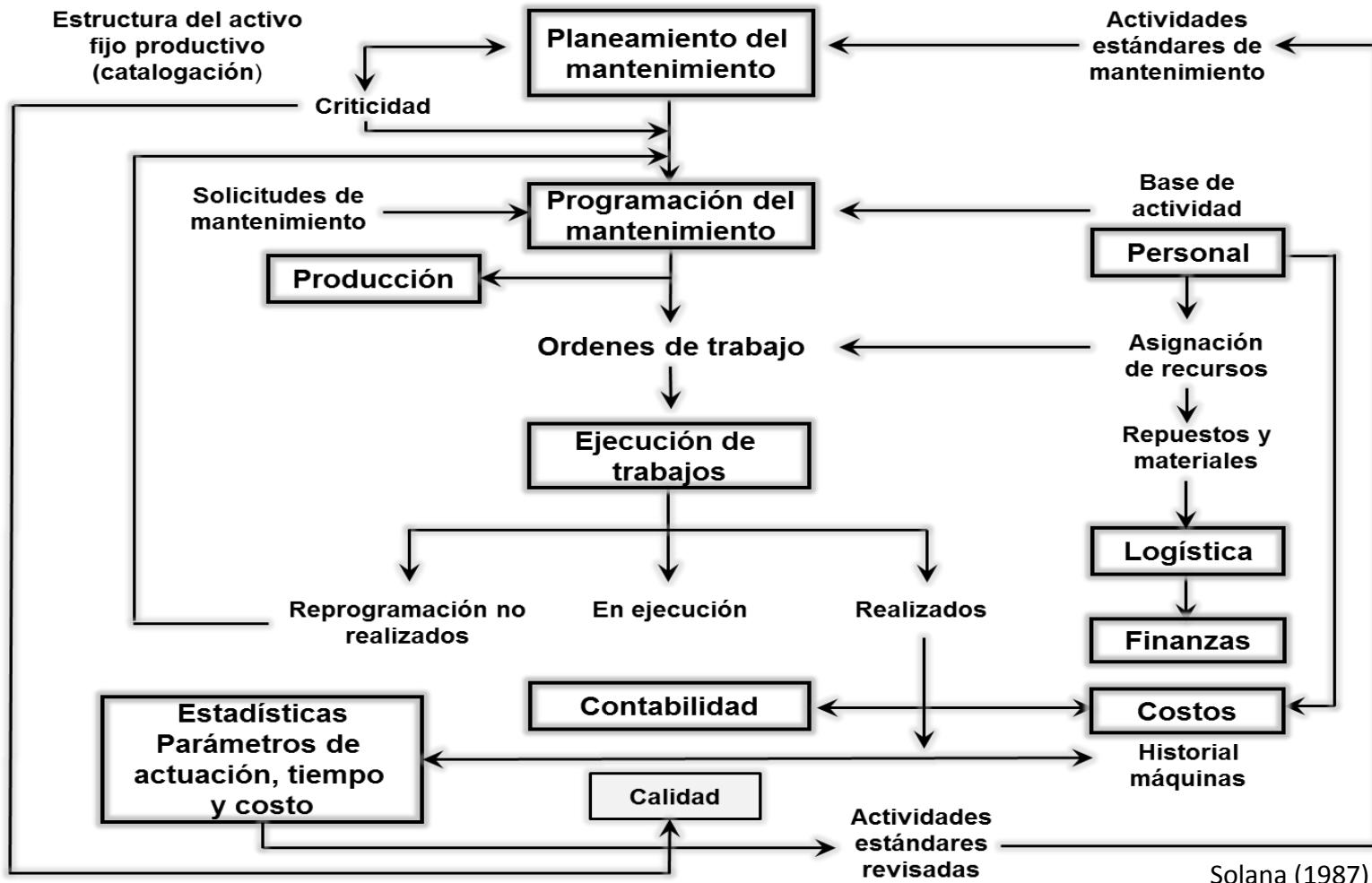


## Costos de la Mano de Obra



## Modelo Esquemático de un Sistema Informático de Mantenimiento

Hito N° 23

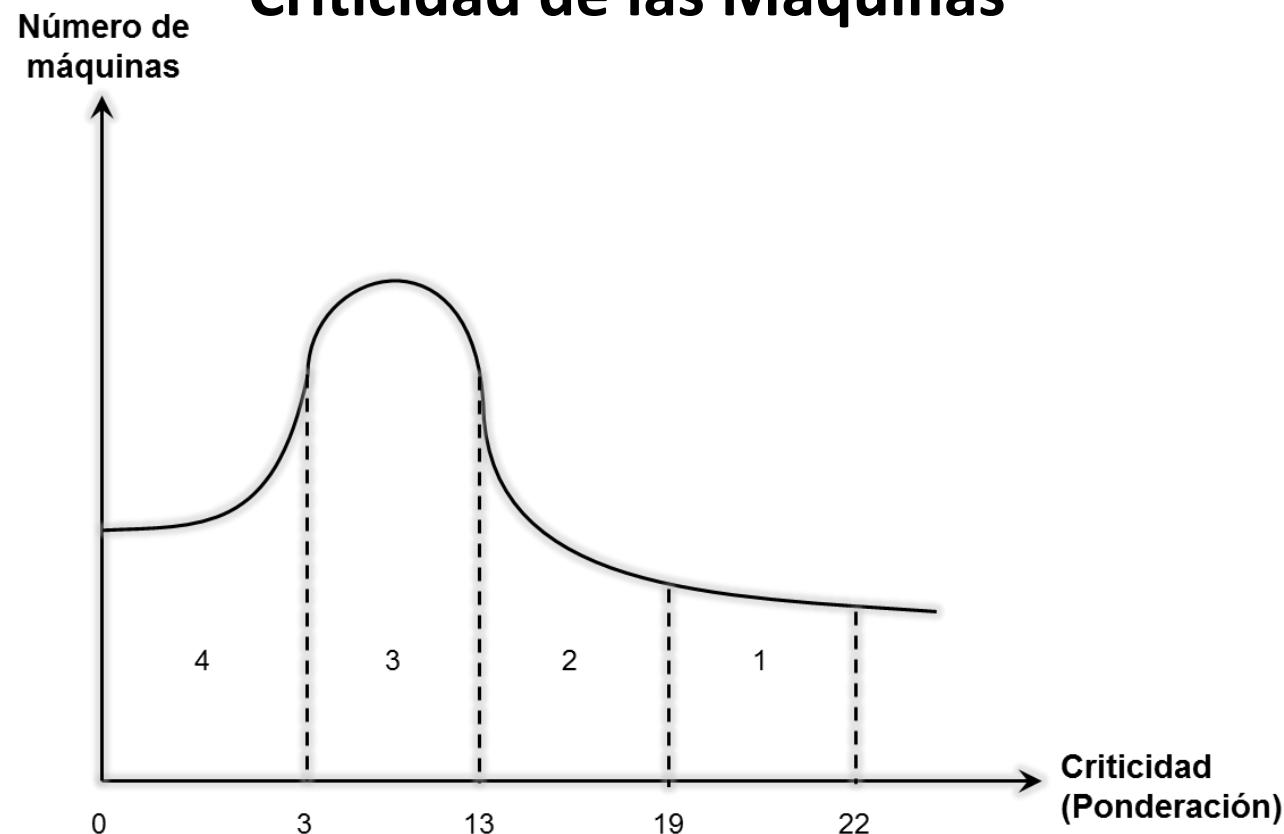


# 8. Sistemas Informáticos de Mantenimiento

## Concepto de la Criticidad de las Máquinas (activos)

Variables	Concepto	Ponderación
Producción	Para Reduce No para	4 2 0
Valor técnico - económico	Alto Medio Bajo	4 2 1
Daños consecuenciales		
A la máquina en sí	Sí	2
	No	0
Al proceso	Sí	3
	No	0
Al personal operador	Riesgo	1
	Sin riesgo	0
Dependencia logística	Extranjero Local	2 0
Dependencia mano de obra	Terceros Propia	2 0
Probabilidad de falla (Confiabilidad)	Alta Baja	1 0
Facilidad de reparación (Mantenibilidad)	Alta Baja	1 0
Flexibilidad en el sistema	Simple By - pass Dual	2 1 0

## Criticidad de las Máquinas



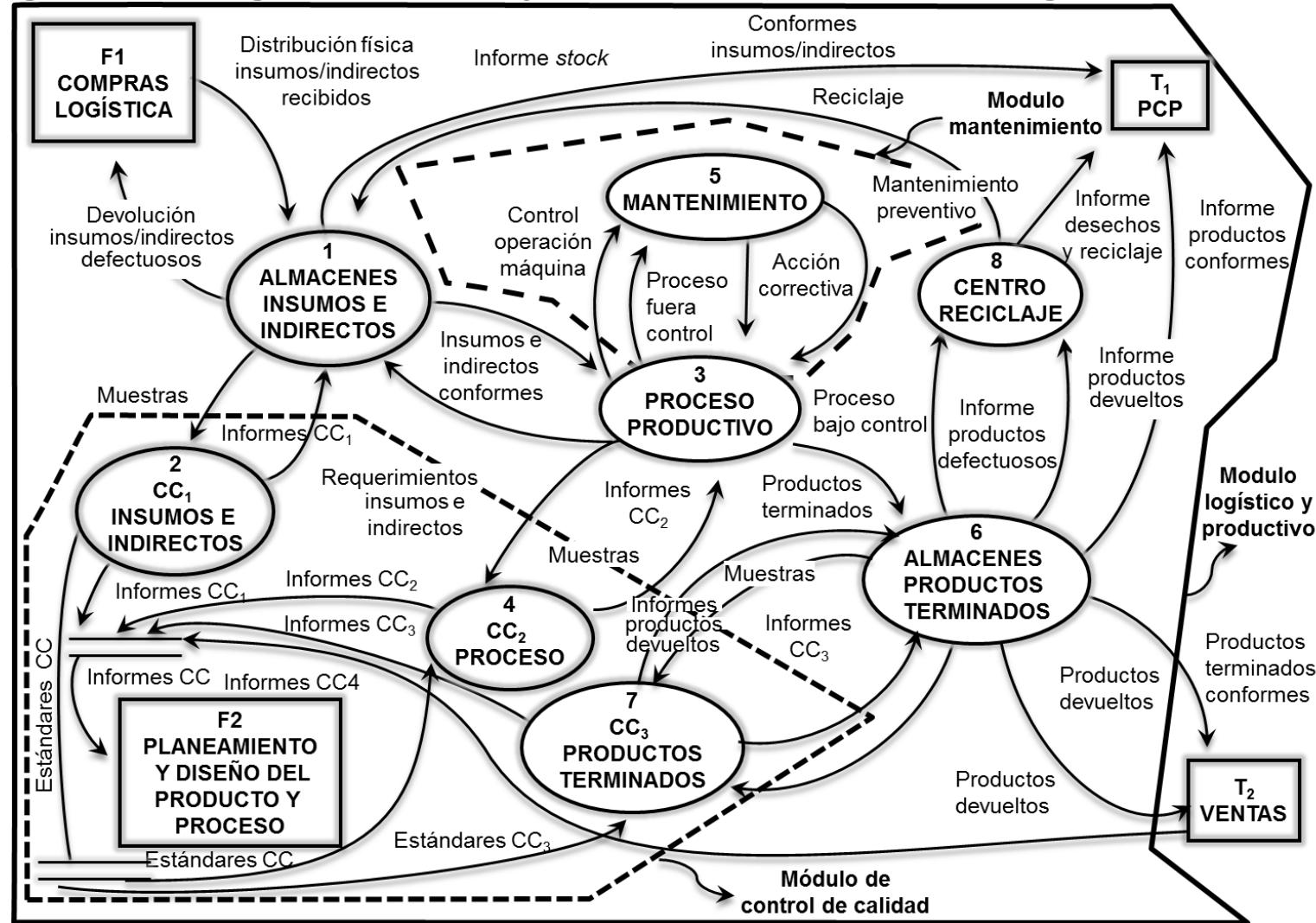
1. Crítica	19	A	22	}] Mantenimiento preventivo
2. Importante	13	A	19	

3. Convenient	06	A	13	}] Mantenimiento correctivo
4. Opcional	00	A	06	

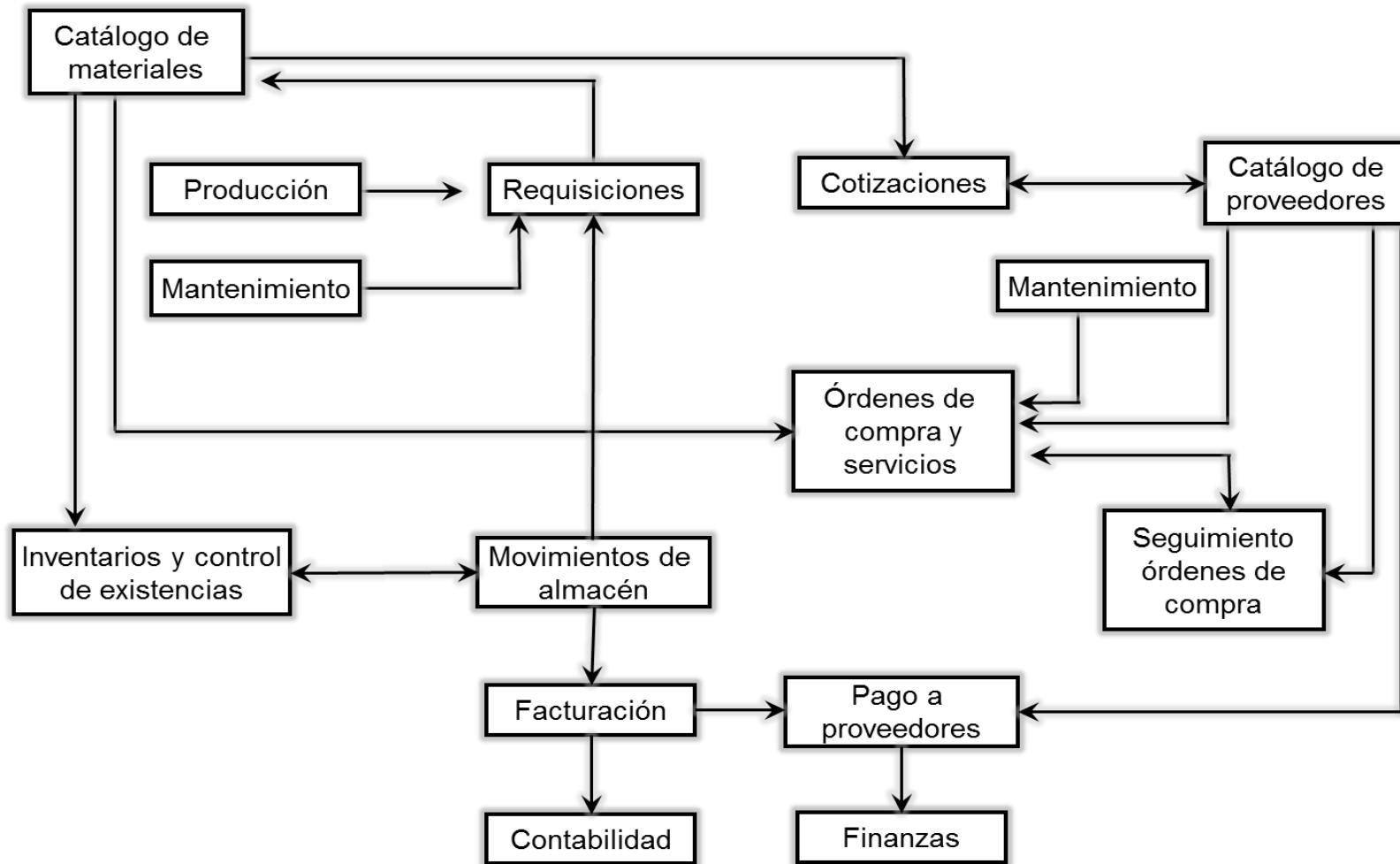


# 8. Sistemas Informáticos de Mantenimiento

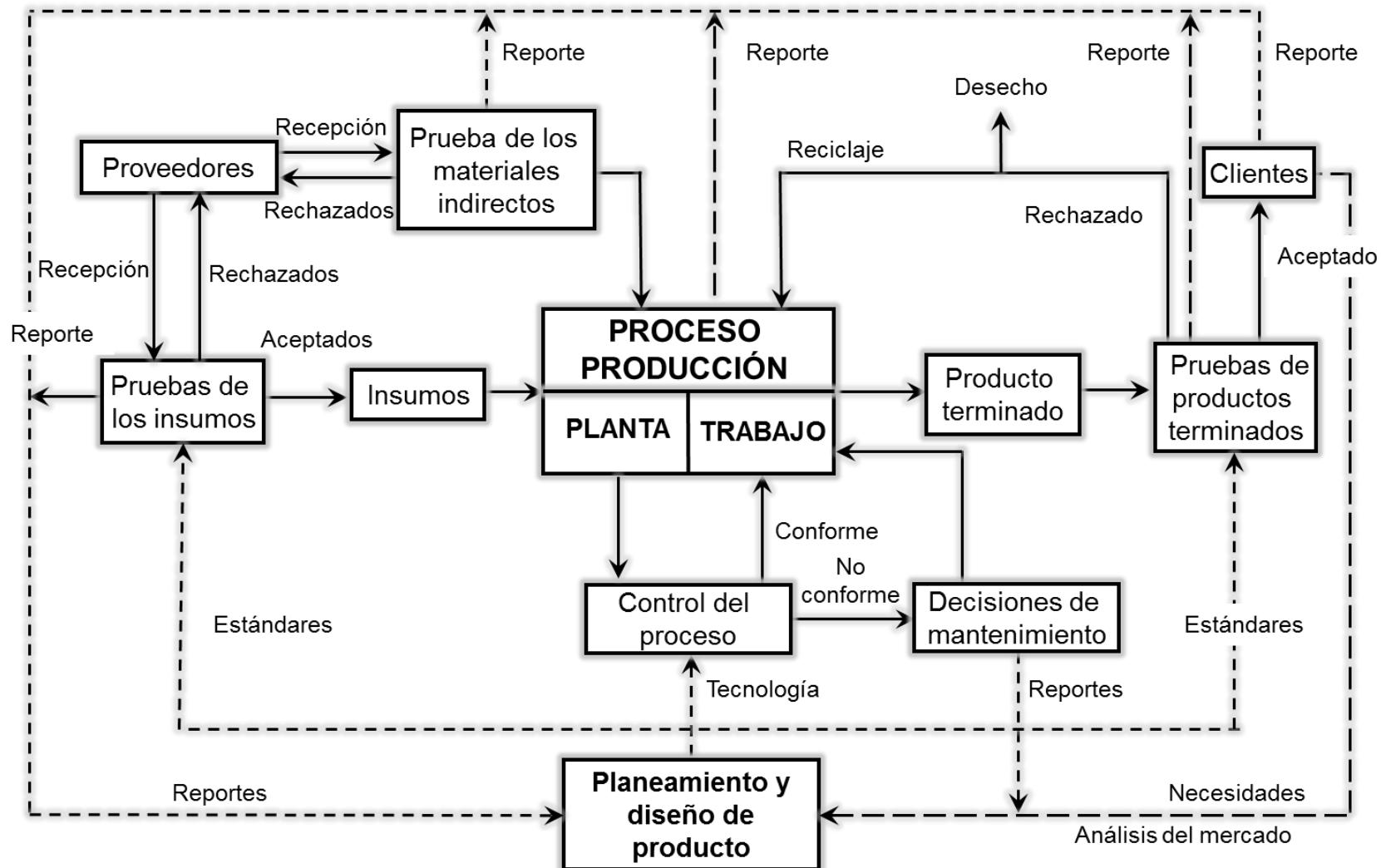
## Diagrama Lógico del Flujo de Datos SIO / Diagrama Cero (0)



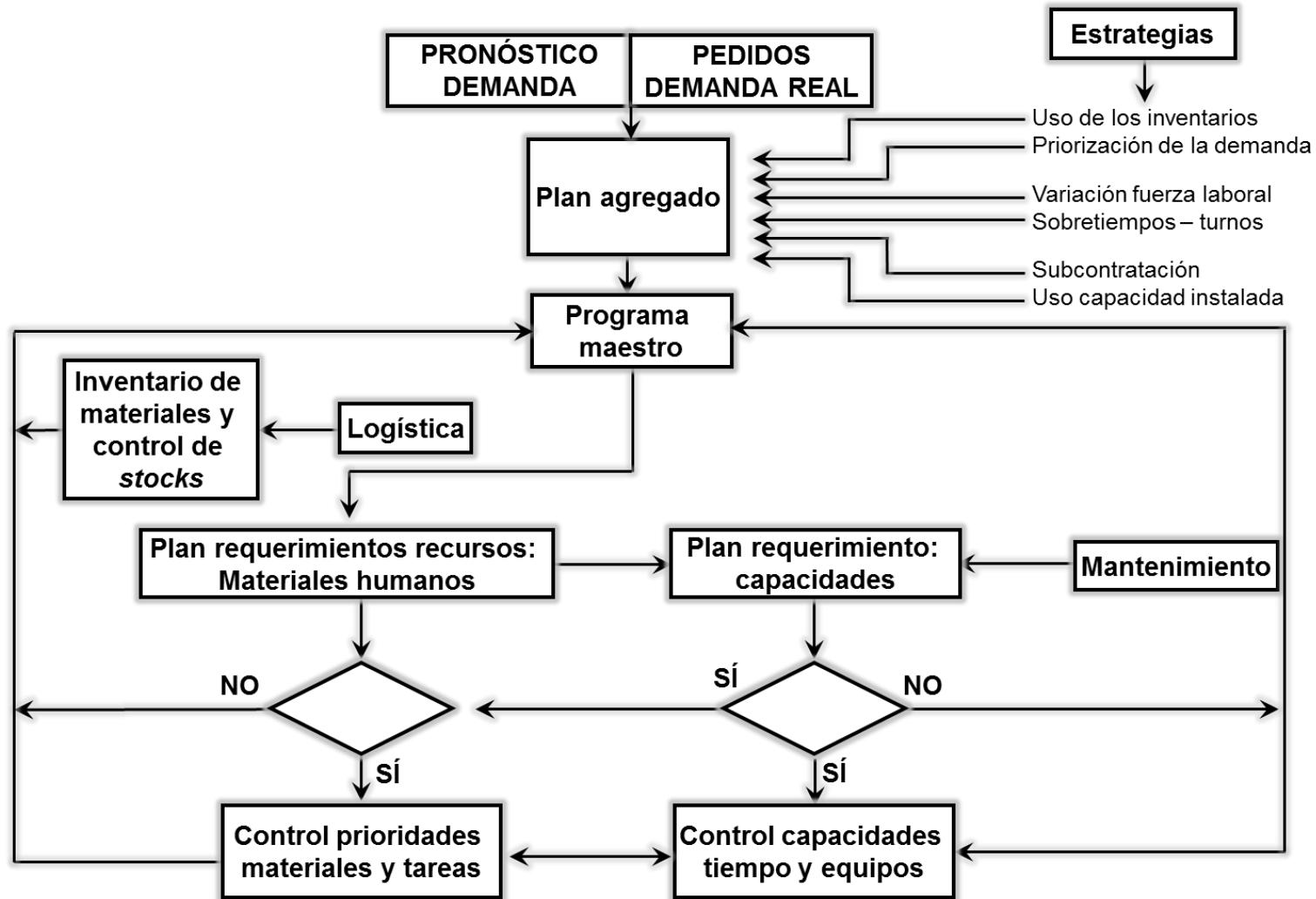
# Modelo Esquemático de un Sistema Logístico



# Modelo Esquemático de un Sistema de Calidad



## Modelo Esquemático de un Sistema de Producción

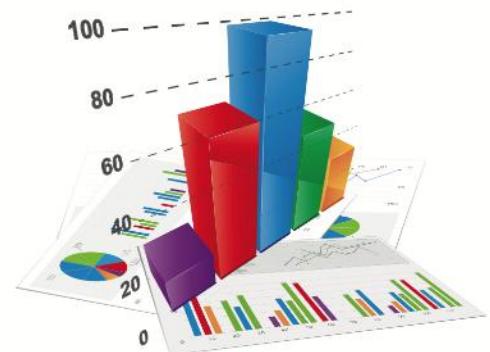


## 9. Lucro Cesante

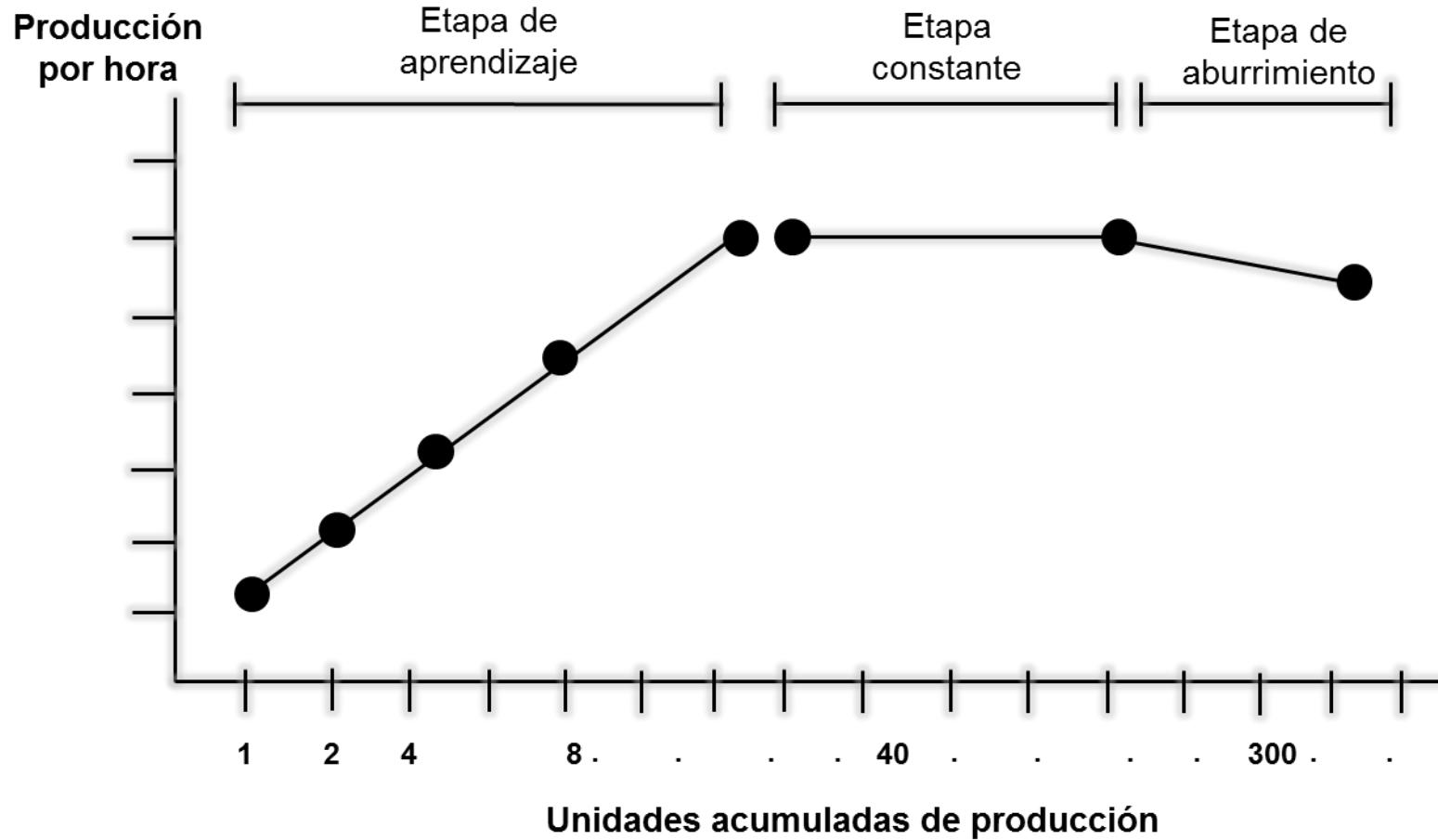
El **lucro cesante** se define como la pérdida (o la renuncia) de lo que habría podido haber ganado o lograrse de no ocurrir un hecho o acto dado. Son los ingresos no percibidos o mermas de los ingresos causados por un evento fortuito o por negligencia punible.

**Costos de oportunidad.** Son aquellos que surgen de alguna forma en las empresas por adoptar unas decisiones de inversión y no otras, por llevar a cabo un determinado proceso productivo y no otra alternativa.

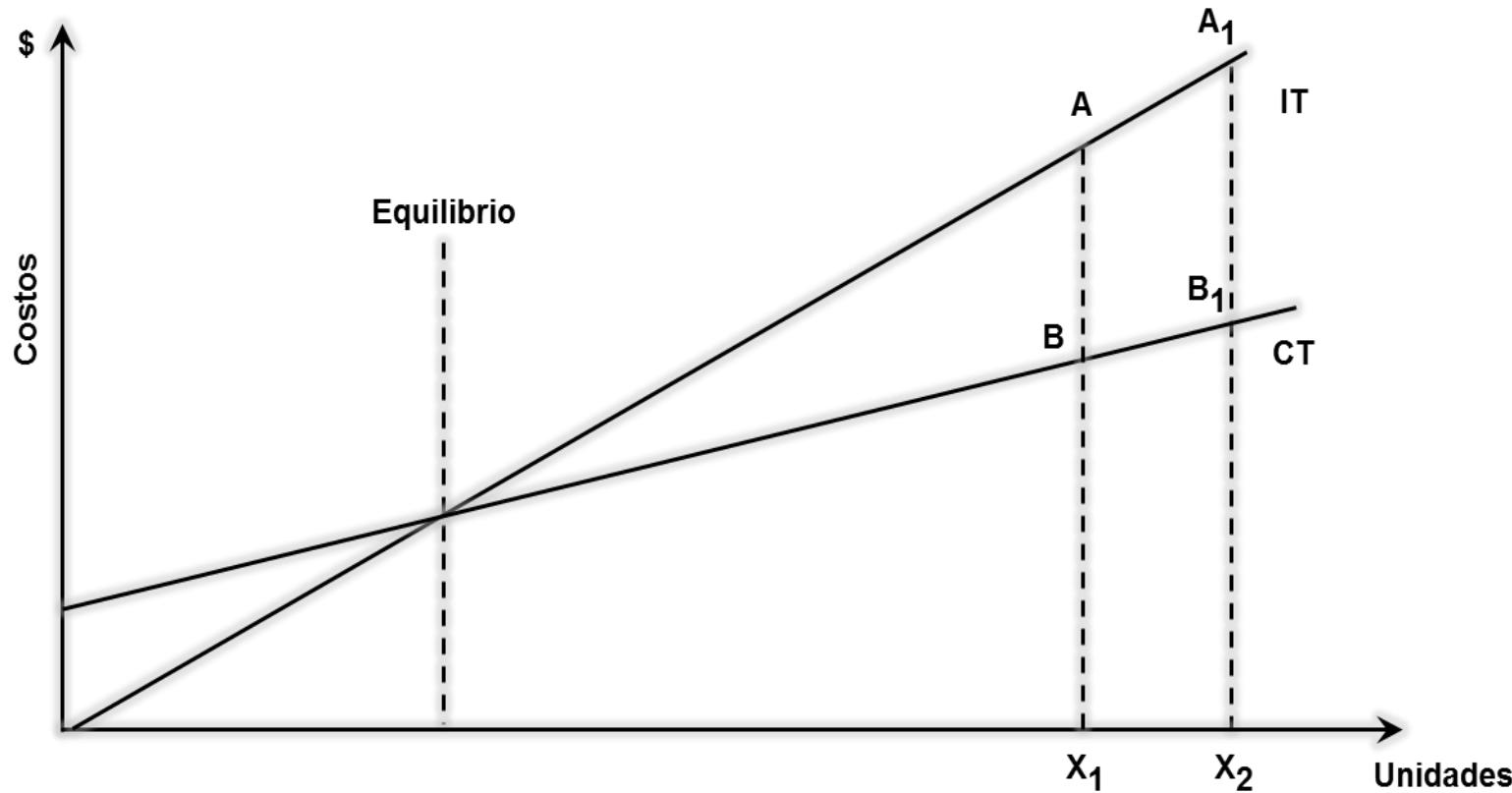
**Costos de subactividad.** Recoge todos aquellos costos por exceso de capacidad que no pueden imputarse en buena lógica a ninguno de los centros reales de costos.



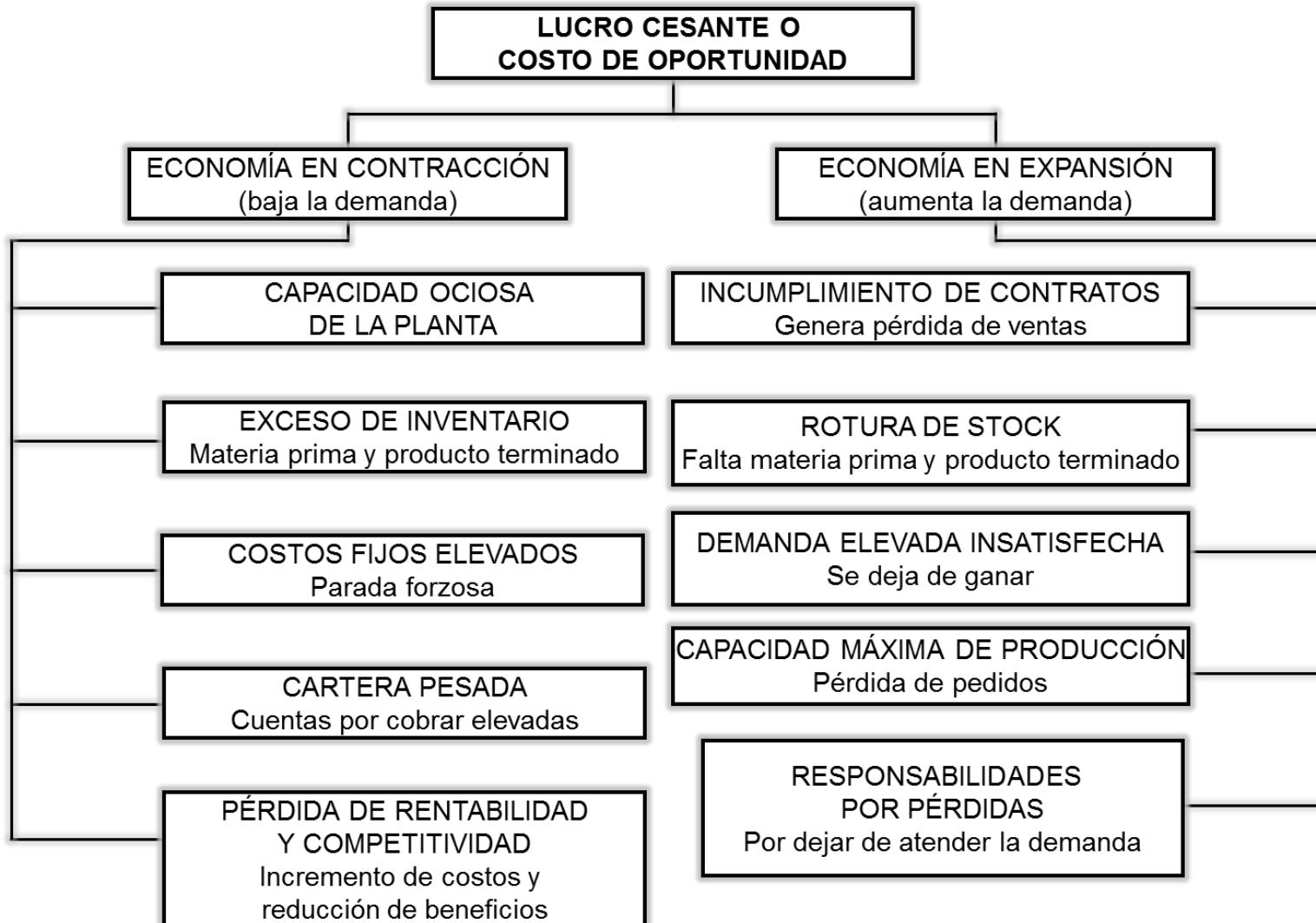
### Curva de Aprendizaje



### Lucro Cesante por Inactividad



## 9. Lucro Cesante



# 10. Depreciación

La depreciación es la asignación sistemática del costo de un activo fijo tangible al gasto durante la vida útil del activo.

- Los activos depreciables son objetos físicos que conservan su tamaño y su forma pero que se desgastan o se tornan obsoletos, es decir, que su utilidad económica disminuye con el tiempo.
- El objetivo de realizar la depreciación es recuperar los costos para mantener el capital de la empresa, que no sólo se deprecia por el uso, sino también por la obsolescencia.



Meigs, Williams, Haka, y Bettner (2000).



# 10. Depreciación

**Depreciación física.** El uso al que está sometido el equipo y las fallas esperadas en su vida útil disminuyen gradualmente su capacidad para ejecutar el trabajo original que justificó su adquisición.



**Depreciación funcional.** Un cambio en las especificaciones de la demanda o el servicio esperado hace decrecer su valor para el propietario.



## 10. Depreciación

**Depreciación tecnológica.** El desarrollo tecnológico permite obtener una mayor productividad del nuevo equipo por la misma inversión.



**Depreciación monetaria.** El cambio del poder adquisitivo del dinero provoca una sutil depreciación, es decir, las provisiones para la recuperación del valor original no son suficientes al final del periodo de vida útil.



# 10. Depreciación

## Métodos de Depreciación

**Método lineal.** Estima una cantidad constante anual para la recuperación del capital.

$$CDA = \frac{(P - S)}{n}$$

**Método por suma de años dígitos.** Las cuotas de depreciación son mayores al inicio de la vida útil y son menores después.

$$\frac{2(n - N + 1)(P - S)}{n(n + 1)}$$

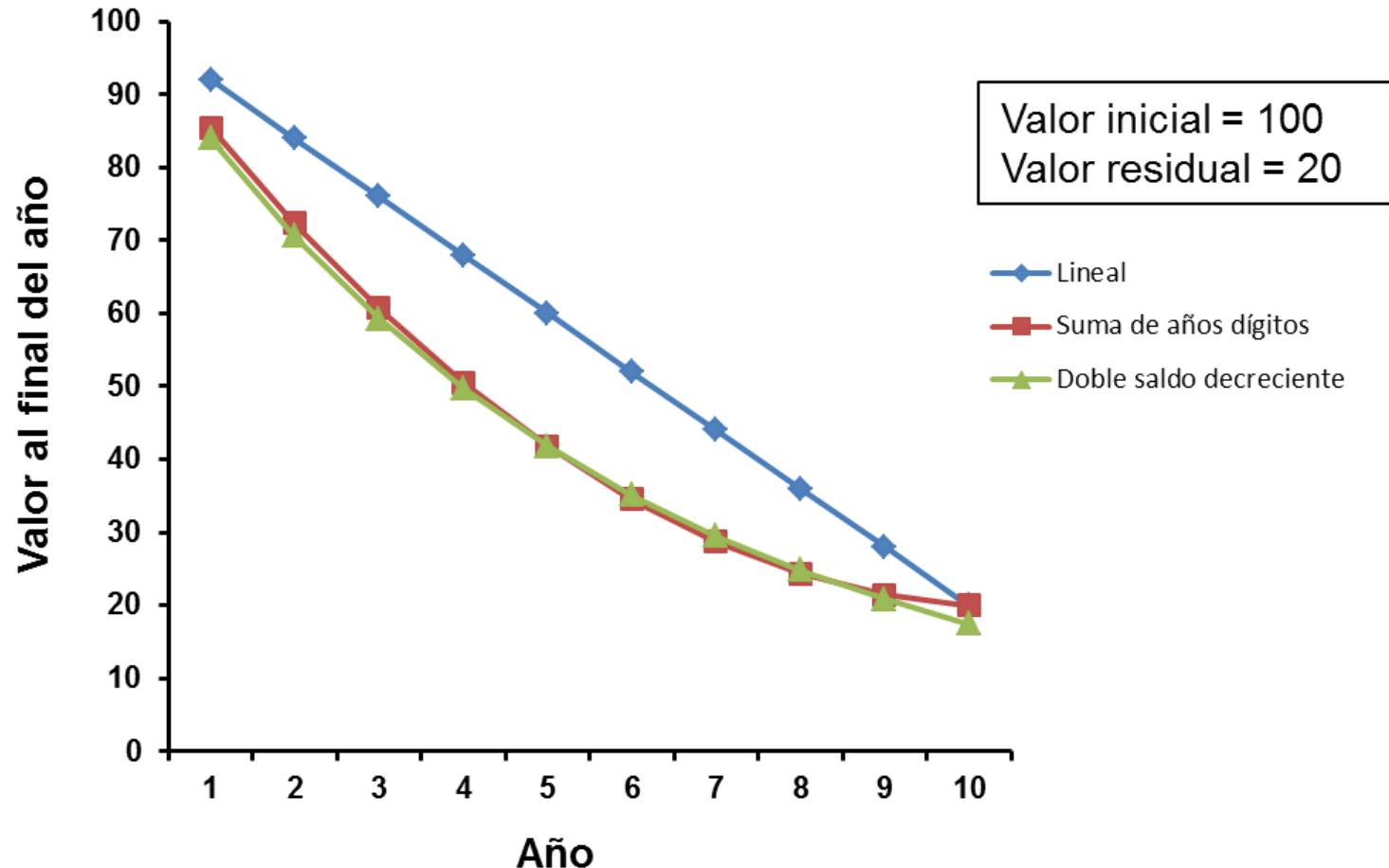
**Método del saldo doblemente declinante.** Las cuotas de depreciación son mayores al inicio de la vida útil y menores después.

$$CDA = \frac{2P_1}{n} \quad P_1 = \left(1 - \frac{2}{n}\right)^N$$

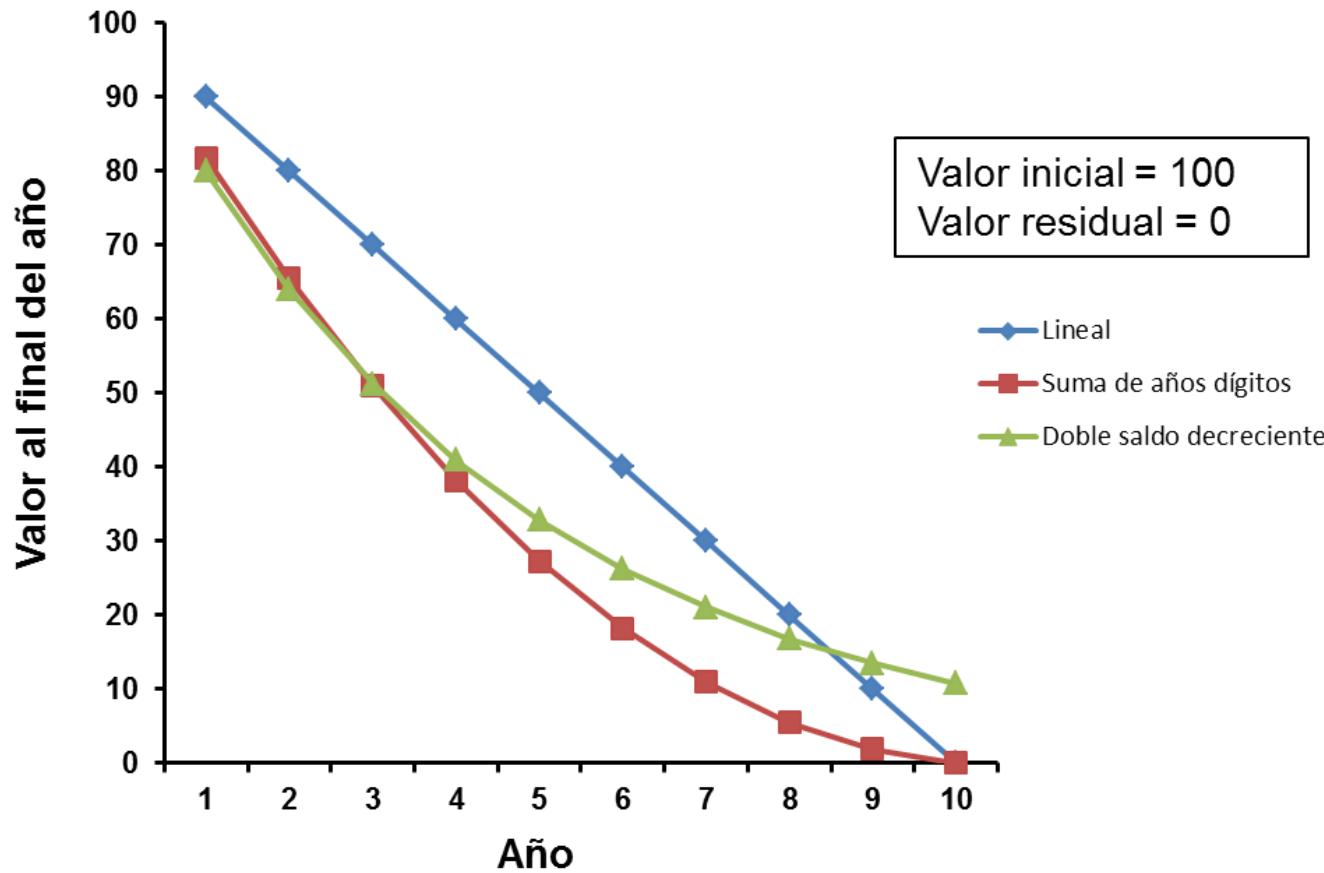


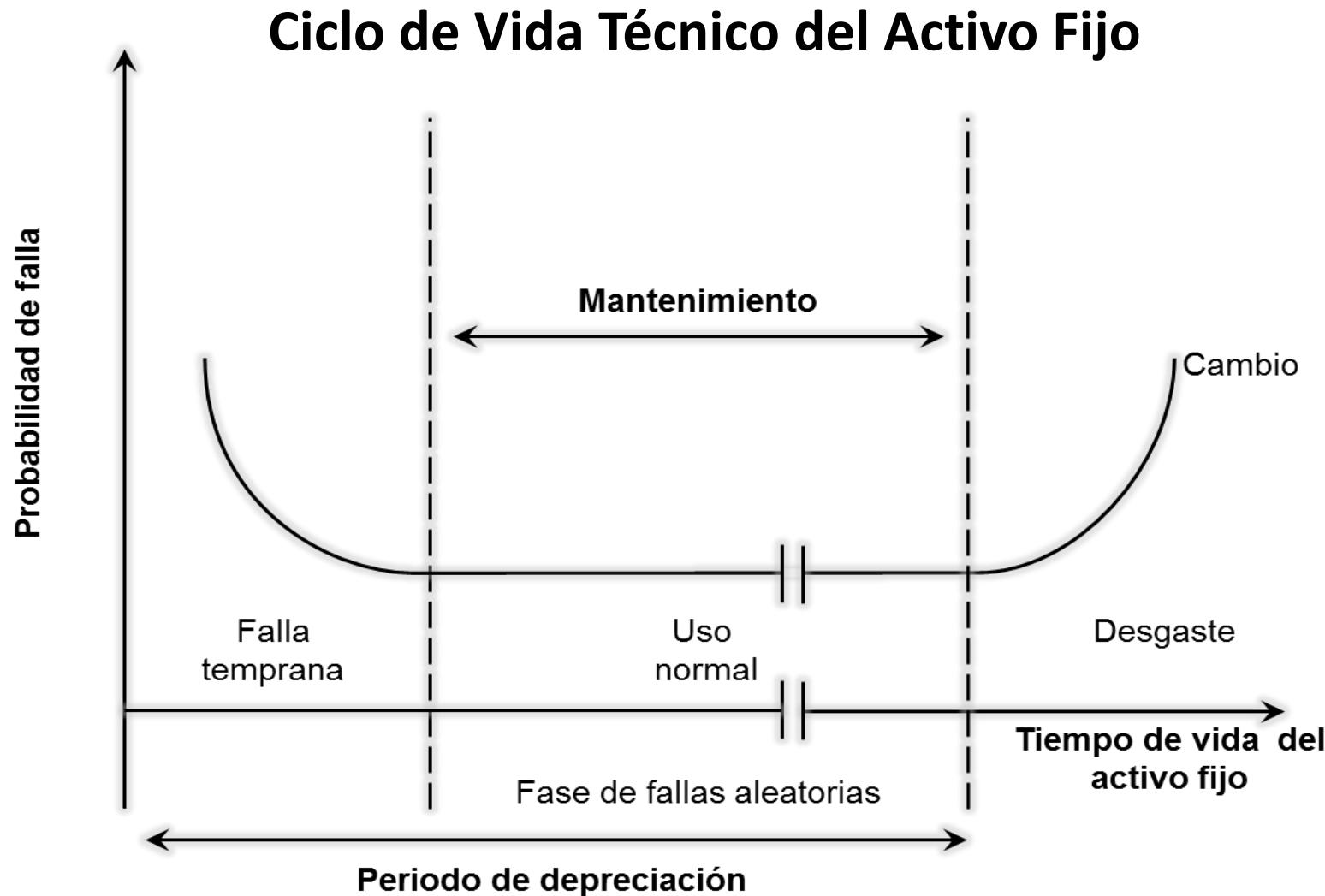
## 10. Depreciación

### Métodos de Depreciación Lineal, Suma de Dígitos y Doble Saldo (I)

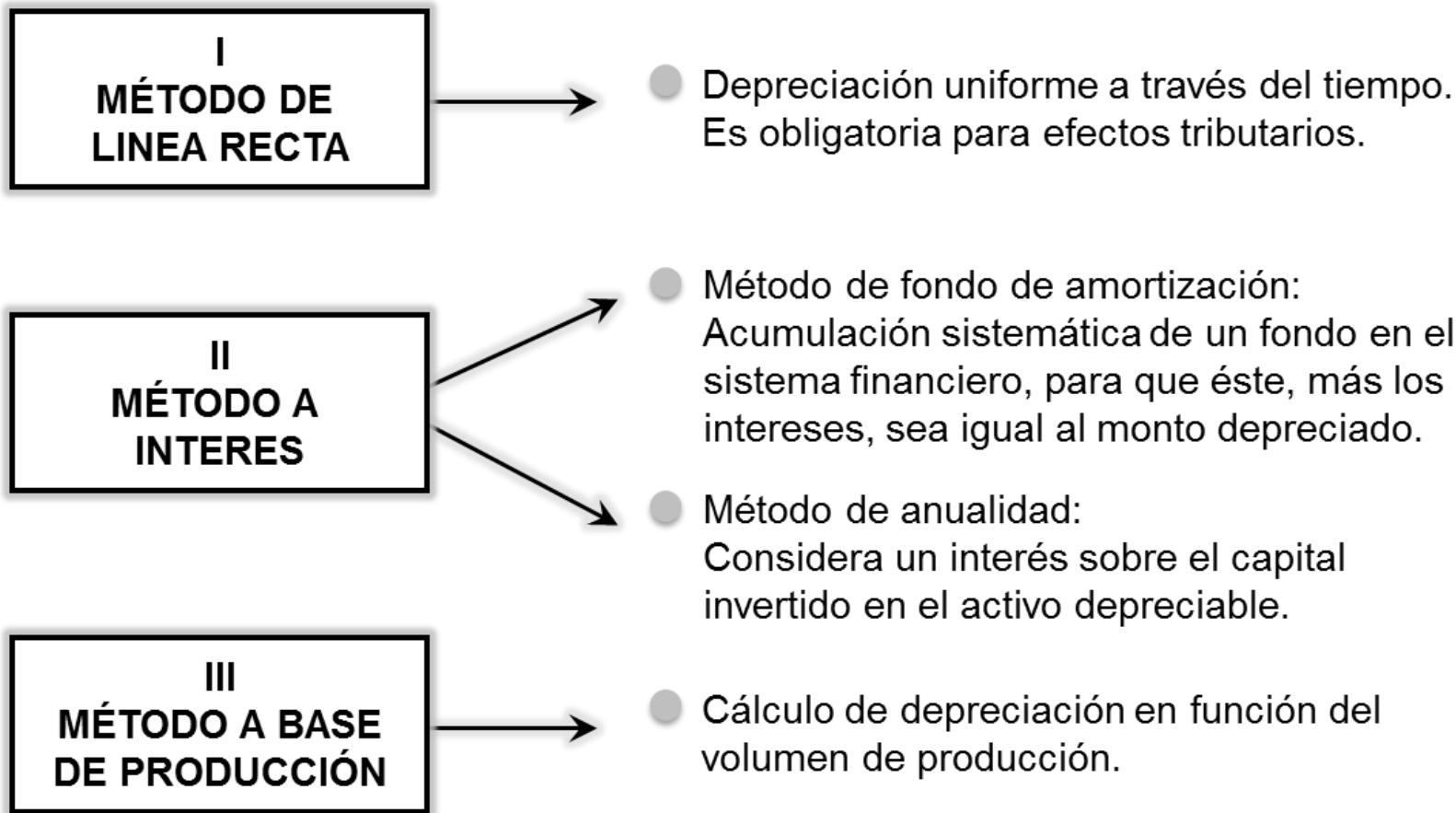


## Métodos de Depreciación Lineal, Suma de Dígitos y Doble Saldo (II)





## Métodos de Depreciación





# GRACIAS

