

# MANTENIMIENTO Y FIABILIDAD

# 7

## CONTENIDO DEL CAPÍTULO

**PERFIL DE UNA EMPRESA  
GLOBAL: ORLANDO UTILITIES  
COMMISSION (LA COMISIÓN  
DE SUMINISTROS ELÉCTRICOS  
DE ORLANDO)**

**LA IMPORTANCIA ESTRATÉGICA  
DEL MANTENIMIENTO  
Y LA FIABILIDAD**

### **FIABILIDAD**

Mejora de los componentes  
individuales

Cómo proporcionar redundancia

### **MANTENIMIENTO**

Implementación del mantenimiento  
preventivo

Incremento de las capacidades  
de reparación

### **MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL**

### **TÉCNICAS PARA DEFINIR POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO**

RESUMEN

TÉRMINOS CLAVE

CÓMO UTILIZAR EL SOFTWARE PARA RESOLVER  
LOS PROBLEMAS DE FIABILIDAD

PROBLEMAS RESUELTOS

EJERCICIOS EN INTERNET Y DEL CD-ROM  
DEL ALUMNO

CUESTIONES PARA EL DEBATE

DILEMA ÉTICO

PROBLEMAS

PROBLEMAS PARA RESOLVER CON INTERNET

CASO DE ESTUDIO: WORLDWIDE CHEMICAL  
COMPANY

CASOS DE ESTUDIO ADICIONALES

BIBLIOGRAFÍA

RECURSOS EN INTERNET

## OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

*Cuando haya  
completado este  
capítulo, debe ser  
capaz de:*

### **Identificar o definir:**

Mantenimiento

Tiempo medio entre  
fallos

Redundancia

Mantenimiento  
preventivo

Mantenimiento  
correctivo

Mortalidad infantil

### **Describir o explicar:**

Cómo medir  
la fiabilidad  
de un sistema

Cómo mejorar  
el mantenimiento

Cómo evaluar  
el rendimiento  
del mantenimiento



## PERFIL DE UNA EMPRESA GLOBAL: ORLANDO UTILITIES COMMISSION (LA COMISIÓN DE SUMINISTROS ELÉCTRICOS DE ORLANDO)

### El mantenimiento proporciona una ventaja competitiva a Orlando Utilities Commission

*En la Central de Energía de Stanton en Orlando se llevan a cabo periódicamente trabajos de mantenimiento tales como la revisión de las turbinas. Las puntas de las aspas de estas turbinas se desplazan a velocidades supersónicas de más de 2.000 kilómetros por hora cuando la central está en funcionamiento. Una fisura en una de las aspas podría provocar un fallo catastrófico.*

*El mantenimiento de instalaciones intensivas en capital exige tener una buena planificación para minimizar el tiempo de inactividad. Aquí se está realizando la revisión de una turbina. Organizar los miles de conjuntos y piezas necesarios para un paro supone un gran esfuerzo.*

La Orlando Utilities Commission (OUC) es propietaria y explotadora de dos centrales eléctricas que suministran electricidad a los dos condados centrales de Florida. Cada año, la OUC desconecta del sistema a cada una de sus unidades de generación de electricidad para realizar trabajos de mantenimiento durante un periodo una a tres semanas.

Además, cada unidad también se desconecta cada tres años para una revisión general y para una inspección de la turbina del generador. Las revisiones globales se programan para la primavera y el otoño, cuando el tiempo es más benigno y la demanda de electricidad es baja. Estas revisiones duran de seis a ocho semanas.

Las unidades de la Central de Energía de Stanton de la OUC exigen que el personal de mantenimiento realice aproximadamente 12.000 trabajos de reparación y mantenimiento preventivo al año. Para lograr realizar estas tareas eficientemente, muchos de estos trabajos son programados mediante un sistema de gestión del mantenimiento informatizado. El sistema genera las órdenes de trabajo del mantenimiento preventivo y lista los materiales necesarios.

Cada día que una planta está desconectada por mantenimiento cuesta a la OUC unos 110.000 dólares extras por el coste de sustitución del suministro de electricidad que debe generarse en otra parte. Sin embargo, estos costes son insignificantes comparados con un corte imprevisto. Un apagón imprevisto podría costar a la OUC entre 350.000 y 600.000 dólares más al día.

Las revisiones programadas no son fáciles; en cada una hay que realizar 1.800 tareas distintas y requieren 72.000 horas de mano de obra. Pero el valor del mantenimiento preventivo quedó ilustrado con la primera revisión de un nuevo generador de turbina. Los trabajadores descubrieron que había un aspa del rotor agrietada que podía haber destruido un equipo de 27 millones de dólares. Para localizar estas grietas, que son invisibles a simple vista, los metales se examinan con pruebas de contraste, rayos X y ultrasonidos.

En la OUC el mantenimiento preventivo vale su peso en oro. Por ello, el sistema de distribución eléctrica de la OUC ha sido clasificada como el número uno del Sudeste estadounidense por PA Consulting Group, una empresa líder en consultoría. El mantenimiento eficaz proporciona una ventaja competitiva para Orlando Utilities Commission.

## LA IMPORTANCIA ESTRATÉGICA DEL MANTENIMIENTO Y LA FIABILIDAD

Los directivos de la Orlando Utilities Commission, y los de cualquier otra organización, deben evitar los resultados indeseables de un fallo en sus equipos. Los resultados de un fallo pueden ser perjudiciales, inoportunos, un despilfarro, y caros tanto en dólares como, incluso, en vidas. Los fallos en las máquinas y en los productos pueden tener efectos de gran alcance en las operaciones de una empresa, en su reputación y en su rentabilidad. En plantas complejas y muy mecanizadas, un proceso fuera de los niveles de tolerancia, o la avería de una máquina, pueden provocar el paro de empleados y de instalaciones, la pérdida de clientes y de prestigio, y la transformación de los beneficios en pérdidas. En una oficina, un fallo en un generador, en un sistema de aire acondicionado, o en una computadora, puede provocar la interrupción de las operaciones. Una buena estrategia de mantenimiento y de fiabilidad protege el rendimiento y las inversiones de una empresa.

*El objetivo del mantenimiento y de la fiabilidad es mantener la capacidad del sistema al mismo tiempo que se controlan los costes.* Un buen sistema de mantenimiento elimina la variabilidad del sistema. Los sistemas se deben diseñar y mantener para alcanzar el rendimiento esperado y los estándares de calidad. El **mantenimiento** incluye todas las actividades involucradas en conseguir que los equipos del sistema productivo estén en buen estado de funcionamiento. La **fiabilidad** es la probabilidad de que un componente de una máquina o un producto funcionen correctamente durante un periodo de tiempo determinado bajo unas condiciones establecidas.

Walt Disney Company y United Parcel Service son dos empresas que reconocen la importancia estratégica del mantenimiento. Disney World, en Florida, no tolera los fallos ni las averías. La reputación de Disney no sólo hace que sea uno de los destinos vacacionales más importantes, sino que también es la meca de los equipos de benchmarking que quieren estudiar sus prácticas de mantenimiento y fiabilidad.

Asimismo, la célebre estrategia de mantenimiento de UPS mantiene operativos y pareciendo como nuevos a sus vehículos de entrega durante 20 años o más. El programa de UPS involucra a conductores entregados a su trabajo y que conducen el mismo camión cada día, y a mecánicos también entregados a su trabajo que mantienen al mismo grupo de vehículos. Conductores y mecánicos son responsables del rendimiento de cada vehículo, y están continuamente en contacto.

La interdependencia de operario, máquina y mecánico es el sello característico de un mantenimiento y una fiabilidad de éxito. Como muestra la Figura 7.1, lo que hace que Disney y UPS tengan éxito no son sólo sus procedimientos de mantenimiento y fiabilidad, sino también la implicación de sus empleados.

En este capítulo vamos a examinar cuatro tácticas para mejorar la fiabilidad y el mantenimiento, no sólo de los productos y de los equipos, sino también de los sistemas que los producen. Estas cuatro tácticas están ordenadas por fiabilidad y por mantenimiento.

Las tácticas de fiabilidad son:

1. Mejora de los componentes individuales
2. Proporcionar redundancia

Las tácticas de mantenimiento son:

1. Poner en práctica o mejorar el mantenimiento preventivo
2. Aumentar las capacidades de reparación o la rapidez

### DIEZ DECISIONES ESTRATÉGICAS DE DIRECCIÓN DE OPERACIONES

Diseño de bienes y servicios  
 Gestión de la calidad  
 Estrategia de procesos  
 Estrategias de localización  
 Estrategias de layout  
 Recursos humanos  
 Dirección de la cadena de suministros  
 Gestión del inventario  
 Programación

### Mantenimiento

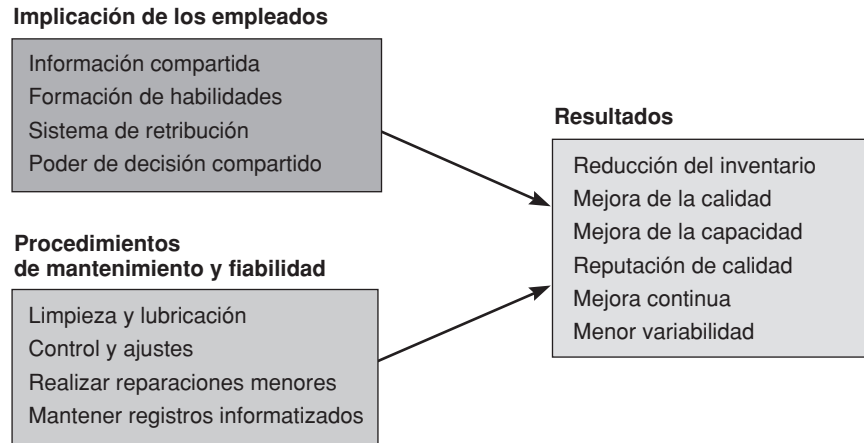
#### Mantenimiento

Todas las actividades involucradas en conseguir que los equipos del sistema productivo estén en buen estado de funcionamiento.

#### Fiabilidad

Probabilidad de que un componente de una máquina o un producto funcionen correctamente durante un periodo de tiempo determinado bajo unas condiciones establecidas.

La variabilidad corrompe los procesos y genera desperdicios. El director de operaciones debe suprimir la variabilidad: diseñar para lograr la fiabilidad y la gestión del mantenimiento son ingredientes esenciales para conseguirlo.



**FIGURA 7.1** ■ Una buena estrategia de mantenimiento y fiabilidad requiere la implicación de los empleados y buenos procedimientos

## FIABILIDAD

Los sistemas se componen de una serie de componentes individuales interrelacionados, cada uno desempeñando una función determinada. Si, por cualquier motivo, *uno* de los componentes falla al realizar su función, puede fallar la totalidad del sistema (por ejemplo, un avión o una máquina).

### Mejora de los componentes individuales

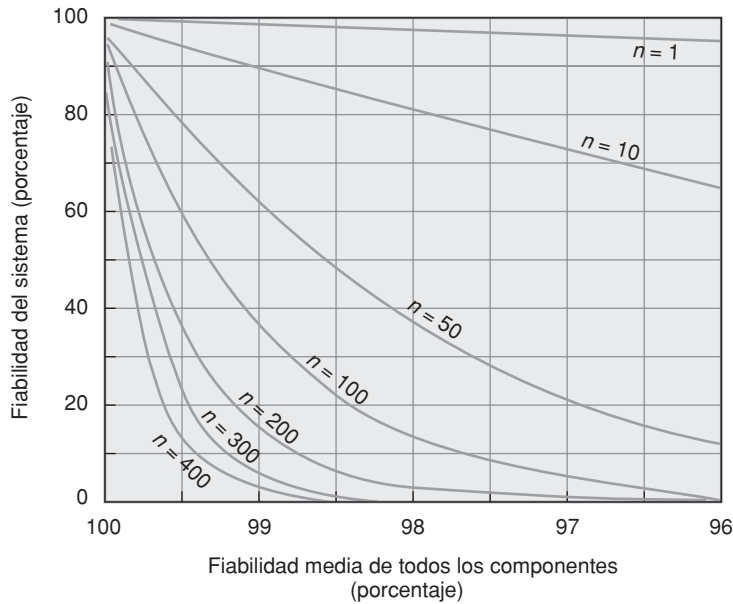
Como los fallos ocurren en el mundo real, comprender su frecuencia es un importante concepto de fiabilidad. Vamos a analizar el impacto de los fallos en serie. La Figura 7.2 muestra que, cuando aumenta el número de componentes en serie, desciende rápidamente la fiabilidad de todo el sistema. Un sistema de  $n = 50$  partes interrelacionadas, cada una con un 99,5 por ciento de fiabilidad, tiene una fiabilidad total del 78 por ciento. Si el sistema o la máquina tienen 100 partes interrelacionadas, cada una con una fiabilidad individual del 95,5 por ciento, ¡la fiabilidad total será tan sólo del 60 por ciento!

Para medir la fiabilidad en un sistema en el que cada parte individual o componente puede tener su propio índice de fiabilidad, no podemos utilizar la curva de fiabilidad de la Figura 7.2. Sin embargo, el método para calcular la fiabilidad de un sistema ( $R_s$ ) es sencillo. Consiste en calcular el producto de las fiabilidades de los componentes individuales de la siguiente manera:

$$R_s = R_1 \times R_2 \times R_3 \times \dots \times R_n \quad (7.1)$$

donde  $R_1$  = fiabilidad del componente 1  
 $R_2$  = fiabilidad del componente 2

y así sucesivamente.



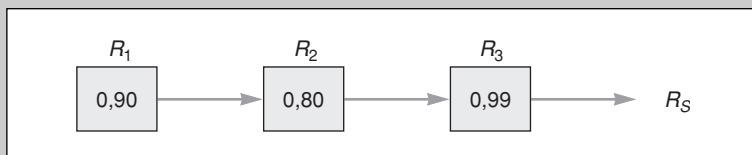
**FIGURA 7.2 ■**  
**Fiabilidad total de un sistema en función del número de componentes y de la fiabilidad de los componentes con los componentes dispuestos en serie**

La Ecuación (7.1) supone que la fiabilidad de un componente individual no depende de la fiabilidad de los otros componentes (es decir, cada componente es independiente). Además, en esta ecuación, como en la mayor parte de las discusiones sobre fiabilidad, ésta se expresa en términos de *probabilidades*. Por tanto, una fiabilidad del 0,90 significa que la unidad funcionará como está previsto, es decir, bien, el 90 por ciento del tiempo. También significa que fallará  $1 - 0,90 = 0,10 =$  el 10 por ciento del tiempo. Podemos utilizar este método para evaluar la fiabilidad de un servicio o de un producto, como veremos en el Ejemplo 1.

La fiabilidad de un componente suele ser una cuestión de diseño o de especificación, cuya responsabilidad recae sobre el personal de diseño de ingeniería. Sin embargo, el personal de compras tiene que ser capaz de mejorar los componentes del sistema manteniéndose al corriente de los productos del proveedor y de los esfuerzos de investigación. El per-

**Fiabilidad en serie**

El Banco Nacional de Greeley, Colorado, procesa las solicitudes de préstamos a través de tres empleados dispuestos en serie:



Si la fiabilidad de los empleados es 0,90, 0,80 y 0,99, entonces la fiabilidad del proceso de créditos es:

$$R_s = R_1 \times R_2 \times R_3 = (0,90)(0,80)(0,99) = 0,713 \text{ o } 71,3 \text{ por ciento}$$

**EJEMPLO 1**



**Active Model 17.1**

El Ejemplo 1 se ilustra con más detalle en el ejercicio Active Model 17.1 del CD-ROM.

sonal de compras puede también intervenir directamente en la evaluación del rendimiento de los proveedores.

La unidad de medida básica de la fiabilidad es el *índice o tasa de fallos del producto* (FR: *Failure Ratio*). Las empresas que fabrican equipos de alta tecnología suelen proporcionar los datos del índice de fallos de sus productos. Como muestran las Ecuaciones (7.2) y (7.3), la tasa de fallos mide el porcentaje de fallos entre el número total de los productos examinados, FR(%), o el número de fallos durante un determinado periodo de tiempo, FR(N).

$$FR(\%) = \frac{\text{Número de fallos}}{\text{Número de unidades probadas}} \times 100\% \quad (7.2)$$

$$FR(N) = \frac{\text{Número de fallos}}{\text{Número de horas de tiempo funcionando}} \quad (7.3)$$

#### Tiempo medio entre fallos (MTBF)

Tiempo esperado entre una reparación y el siguiente fallo de un componente, máquina, proceso o producto.

Quizá la expresión más común en el análisis de fiabilidad es el **tiempo medio entre fallos** (*mean time between failures*, MTBF), que es la inversa de FR(N):

$$MTBF = \frac{1}{FR(N)} \quad (7.4)$$

En el Ejemplo 2 vamos a calcular el porcentaje de fallos FR(%), el número de fallos FR(N), y el tiempo medio entre fallos (MTBF)

### EJEMPLO 2

#### Cálculo del tiempo medio entre fallos

Veinte sistemas de aire acondicionado diseñados para ser usados por los astronautas en las lanzaderas espaciales de la NASA se sometieron a una prueba de 1.000 horas de duración en las instalaciones de la NASA en Huntsville, Alabama. Dos de los sistemas fallaron durante la prueba, uno después de 200 horas de funcionamiento y el otro después de 600 horas. Para calcular el porcentaje de fallos utilizaremos la siguiente ecuación:

$$FR(\%) = \frac{\text{Número de fallos}}{\text{Número de unidades probadas}} = \frac{2}{20} (100\%) = 10\%$$

Ahora calculamos el número de fallos por hora de funcionamiento:

$$FR(N) = \frac{\text{Número de fallos}}{\text{Tiempo de funcionamiento}}$$

donde

$$\begin{aligned} \text{Tiempo total} &= (1.000 \text{ h})(20 \text{ unidades}) \\ &= 20.000 \text{ unidades/hora} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tiempo no operativo} &= 800 \text{ horas para el primer fallo} + 400 \text{ horas para el segundo fallo} \\ &= 1.200 \text{ unidades/hora} \end{aligned}$$

$$\text{Tiempo funcionamiento} = \text{Tiempo total} \times \text{Tiempo no operativo}$$

$$FR(N) = \frac{2}{20.000 - 1.200} = \frac{2}{18.800}$$

$$= 0,000106 \text{ fallo/hora de funcionamiento}$$

$$\text{y como MTBF} = \frac{1}{\text{FR}(N)}$$

$$\text{MTBF} = \frac{1}{0,000106} = 9,434 \text{ horas de funcionamiento}$$

Si el típico viaje espacial de una lanzadera dura 60 días, la NASA estará interesada en el índice de fallos por viaje:

$$\begin{aligned} \text{Índice de fallos} &= (\text{fallos/hora de func.})(24 \text{ h/día})(60 \text{ días/viaje}) \\ &= (0,000106)(24)(60) \\ &= 0,153 \text{ fallos/viaje} \end{aligned}$$

Puesto que la tasa de fallos obtenida en el Ejemplo 2 es probablemente demasiado alta, la NASA deberá o aumentar la fiabilidad de los componentes individuales, y por lo tanto del sistema, o instalar varias unidades de aire acondicionado de reserva (*backup*) en cada lanzadera espacial. Las unidades de reserva o seguridad proporcionan redundancia.

## Cómo proporcionar redundancia

Para aumentar la fiabilidad de los sistemas, se añade **redundancia**. La técnica consiste en “respaldar” los componentes con componentes adicionales. Se conoce como la técnica de poner unidades en paralelo, y es una táctica de dirección de operaciones habitual, como se destaca en el recuadro sobre *Dirección de operaciones en acción* titulado “A los pilotos de los F-14 Tomcat les encanta la redundancia”. Se proporciona redundancia para asegurar

**Redundancia**  
Utilización de componentes en paralelo para aumentar la fiabilidad.

## DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN EN ACCIÓN

### A LOS PILOTOS DE LOS F-14 TOMCAT LES ENCANTA LA REDUNDANCIA

En un mundo que acepta software con fallos y computadoras que se quedan colgadas, merece la pena recordar que algunos sistemas informáticos funcionan sin ningún fallo. ¿Dónde están estos sistemas? Están en los aviones reactores de caza, en las naves espaciales, en las centrales nucleares y en los sistemas de control de inundaciones. Estos sistemas son extraordinariamente fiables, a pesar de que dependen en gran medida de su software. En estos sistemas se trata de tener redundancia (tienen su propio software y sus propios procesadores) y de utilizar la mayoría de su ciclos para realizar controles internos de calidad.

La geometría de ala variable del F-14 Tomcat le permite volar muy deprisa y frenar muy rápidamente cuando

aterriza en un portaaviones. Los cálculos para determinar la posición correcta del ala a medida que cambia la velocidad del aire son realizados por software y procesadores dedicados. Los procesadores funcionan conjuntamente de forma que múltiples cálculos verifican las señales que se envían.

Sólo el 10 por ciento del software del F-14 sirve para hacer volar al avión; el 40 por ciento se utiliza para hacer pruebas y controles automáticos; el 50 por ciento restante es de redundancia. Los sistemas de alta fiabilidad funcionan porque su diseño incluye autocontroles y redundancia. Estos sistemas redundantes identifican problemas potenciales y los corrigen antes de que se produzca un fallo. Si es usted un piloto de un F-14 Tomcat, usted está enamorado de la redundancia.

Fuente: *Information.com* (1 de abril de 2002): 34.

que, si un componente falla, el sistema puede recurrir a otro. Por ejemplo, supongamos que la fiabilidad de un componente es 0,80 y la del componente de *backup* es 0,80. La fiabilidad resultante es la probabilidad de que el primer componente funcione más la probabilidad de que el componente de respaldo (o paralelo) funcione multiplicada por la probabilidad de necesitar el componente de apoyo ( $1 - 0,8 = 0,2$ ). Por tanto:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Probabilidad de} \\ \text{que el primer} \\ \text{componente} \\ \text{funcione} \end{array} \right) + \left[ \left( \begin{array}{c} \text{Probabilidad de} \\ \text{que el segundo} \\ \text{componente} \\ \text{funcione} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{Probabilidad de} \\ \text{necesitar el} \\ \text{segundo} \\ \text{componente} \end{array} \right) \right] =$$

$$(0,8) + [(0,8 \times (1 - 0,8))] = 0,8 + 0,16 = 0,96$$

El Ejemplo 3 muestra cómo la redundancia puede mejorar la fiabilidad del proceso de préstamos presentado en el Ejemplo 1.

### EJEMPLO 3

#### Fiabilidad con un proceso paralelo

El Banco Nacional está preocupado porque su proceso de solicitud de préstamos sólo tienen una fiabilidad del 0,713 (véase el Ejemplo 1). Por ello, el banco decide proveer de redundancia a los dos empleados con menor fiabilidad. Los resultados del procedimiento se muestran a continuación:

$R_1$	$R_2$	$R_3$	
0,90	0,8		
↓	↓		
0,90	→ 0,8	→ 0,99	= [0,9 + 0,9(1 - 0,9)] × [0,8 + 0,8(1 - 0,8)] × 0,99
			= [0,9 + (0,9)(0,1)] × [0,8 + (0,8)(0,2)] × 0,99
			= 0,99 × 0,96 × 0,99 = 0,94

Proveyendo redundancia a dos empleados, el Banco Nacional ha aumentado la fiabilidad del proceso de préstamos de 0,713 a 0,94.



#### Active Model 17.2

El Ejemplo 3 se ilustra con más detalle en el ejercicio Active Model 17.2 del CD-ROM.

## MANTENIMIENTO

Existen dos tipos de mantenimiento, el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo o de averías. El **mantenimiento preventivo** implica realizar inspecciones y servicios rutinarios y mantener las instalaciones en buen estado. Estas actividades están pensadas para desarrollar un sistema que encontrará fallos potenciales y efectuará cambios o reparaciones que evitarán los fallos. El mantenimiento preventivo es mucho más que mantener en funcionamiento la maquinaria y el equipo. También implica el diseño de sistemas técnicos y humanos que mantendrán funcionando el proceso productivo dentro de los límites de tolerancia, lo que permite que el sistema productivo rinda. El énfasis del mantenimiento preventivo está en entender el proceso y mantenerlo funcionando sin interrupcio-

#### Mantenimiento preventivo

Plan que implica realizar inspecciones y servicios rutinarios y mantener las instalaciones en buen estado para prevenir averías.



nes. El **mantenimiento correctivo o por avería** se lleva a cabo cuando el equipo falla y se tiene que reparar en base a emergencia o prioridad.

#### **Mantenimiento correctivo o por avería**

Mantenimiento de recuperación que se lleva a cabo cuando un equipo falla y se tiene que reparar en base a emergencia o prioridad.

#### **Mortalidad infantil**

Tasa de fallos que se produce al comienzo de la vida de un producto o de un proceso.

## **Implementación del mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo supone que podemos determinar cuándo un sistema necesita un servicio de mantenimiento o necesitará una reparación. Por lo tanto, para llevar a cabo el mantenimiento preventivo, necesitamos saber cuándo un sistema necesita servicio o cuándo es probable que falle. Los fallos se producen con diferentes tasas de ocurrencia durante la vida de un producto. Para muchos productos puede existir una elevada tasa de fallos inicial, conocida como **mortalidad infantil**<sup>1</sup>. Por este motivo, muchas empresas electrónicas “quemar” sus productos antes de su distribución. Es decir, realizan diversas pruebas (tal como un ciclo de lavado completo en Maytag) para detectar los problemas de “puesta en marcha” antes de entregar los productos. Las empresas también pueden dar 90 días de garantía. Debemos remarcar que muchos de los fallos de mortalidad infantil no son fallos del producto *per se*, sino más bien fallos por uso inadecuado. Este hecho destaca la importancia en muchas industrias de que la dirección de operaciones sea capaz de crear un sistema de servicio postventa que incluya la instalación y la formación.

Una vez que el producto, la máquina o el proceso está “instalado”, se puede hacer un estudio de la distribución del tiempo medio entre fallos. Estas distribuciones suelen seguir una curva normal. Cuando estas distribuciones presentan pequeñas desviaciones estándar, entonces sabemos que tenemos un candidato al mantenimiento preventivo, aunque dicho mantenimiento sea caro<sup>2</sup>.

Una vez que nuestra empresa ha detectado un candidato al mantenimiento preventivo, queremos determinar *cuándo* es económico dicho mantenimiento. Normalmente, cuanto más caro es el mantenimiento, más estrecha debe ser la distribución del tiempo medio entre fallos (es decir, debe tener una desviación estándar pequeña). Además, si no es más caro reparar el proceso cuando se avería que el coste del mantenimiento preventivo, quizá deberíamos dejar que el proceso falle y entonces proceder a la reparación. Sin embargo, hay que considerar bien las consecuencias del fallo. Incluso fallos relativamente menores pueden tener consecuencias catastróficas. En el otro extremo, los costes del mantenimiento preventivo pueden ser de tan poca importancia que el mantenimiento preventivo es adecuado incluso cuando la distribución MTBF es bastante plana (es decir, tiene una desviación estándar grande). En cualquier caso, para ser coherentes con las prácticas de enriquecimiento del trabajo, los operarios de las máquinas deben ser responsables del mantenimiento preventivo de sus equipos y herramientas.

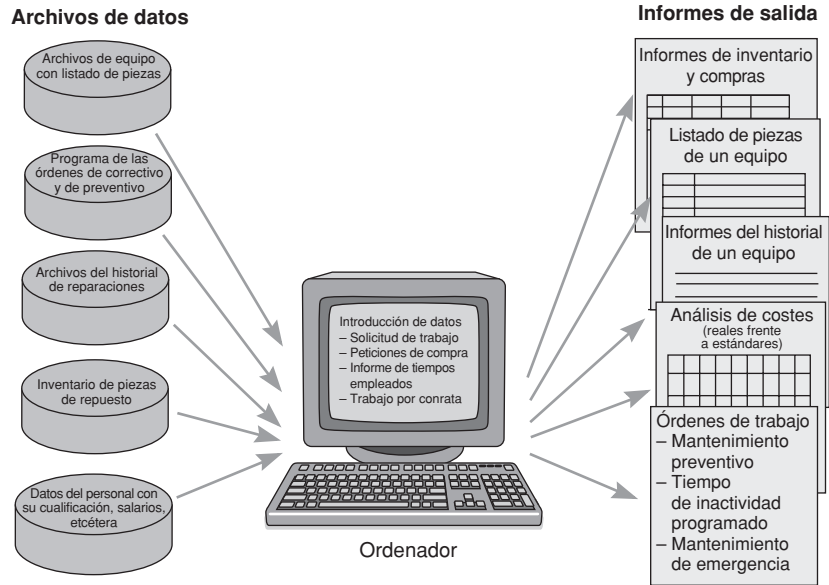
Con técnicas de información adecuadas, las empresas pueden mantener registros propios de procesos, máquinas o equipos. Estos registros pueden proporcionar el perfil del tipo de mantenimiento requerido por el activo y del cuándo hacer el mantenimiento necesario. El mantenimiento del historial del equipo es una parte muy importante de un sistema de mantenimiento preventivo, como lo es un registro del tiempo y del coste de realizar la reparación. Estos registros también pueden proporcionar información similar sobre familias de equipos y sobre proveedores.

El mantenimiento de registros es de tal importancia que la mayoría de los buenos sistemas de mantenimiento están ahora informatizados. La Figura 7.3 muestra los compo-

<sup>1</sup> Los fallos de mortalidad infantil suelen seguir una distribución exponencial negativa.

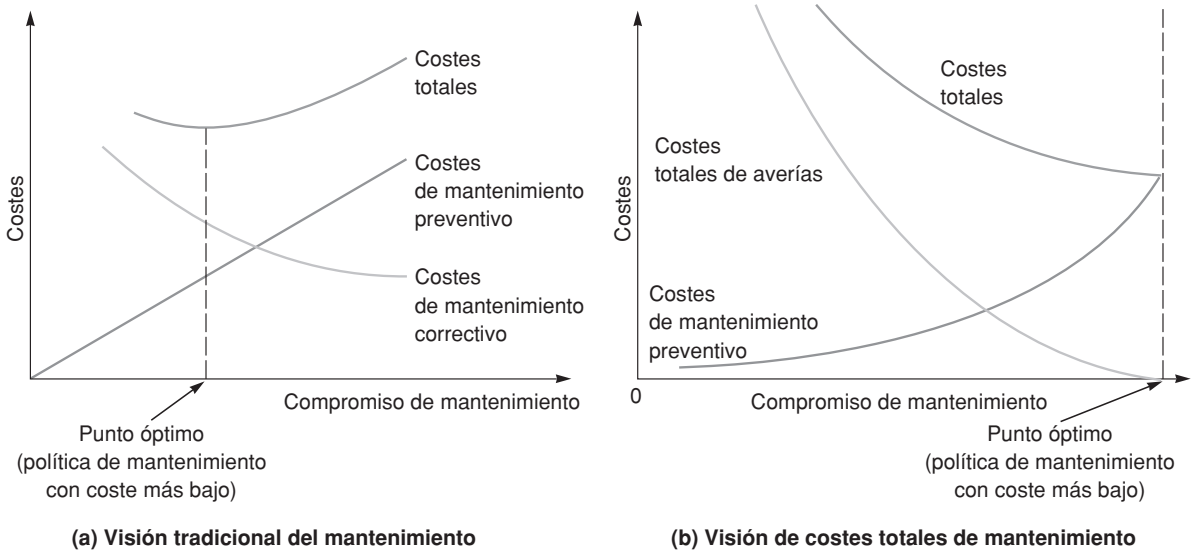
<sup>2</sup> Véase, por ejemplo, el trabajo de J. Michael Brock, John R. Michael y David Morganstein, “Using Statistical Thinking to Solve Maintenance Problems”, *Quality Progress* (mayo de 1989): pp. 55-60.

**FIGURA 7.3 ■ Sistema informatizado de mantenimiento**



nentes principales de un sistema de este tipo, con los archivos a mantener a la izquierda, y los informes generados a la derecha.

La Figura 7.4(a) muestra el gráfico tradicional de la relación entre el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo. Según este enfoque, los directivos de operaciones buscan un *equilibrio* entre ambos costes. Asignando un mayor número de recursos al mantenimiento preventivo se reducirá el número de averías. Sin embargo, en algún momento, el descenso de los costes de mantenimiento por averías (correctivo) puede ser



**FIGURA 7.4 ■ Costes de mantenimiento**

menor que el aumento de los costes de mantenimiento preventivo. En este punto, la curva de costes totales comenzará a ascender. Más allá de este punto óptimo, es mejor que la empresa espere a que se produzca una avería y que la repare cuando ocurra.

Desgraciadamente, las curvas de costes como las representadas en la Figura 7.4(a) rara vez consideran *los costes totales de una avería*. Muchos costes se ignoran por no estar *directamente* relacionados con la avería. Por ejemplo, normalmente no se considera el coste del inventario que se mantiene para compensar el tiempo inactivo. Además, el tiempo de inactividad puede tener un efecto devastador sobre la moral: los empleados pueden empezar a creer que no es importante alcanzar el estándar de rendimiento establecido, ni tampoco el mantenimiento del equipo. Por último, el tiempo de inactividad afecta negativamente a los programas de entrega, destruyendo las buenas relaciones con los clientes y las ventas futuras. Cuando se tiene en cuenta el impacto completo de las averías, la Figura 7.4(b) puede ser una mejor representación de los costes de mantenimiento. En la Figura 7.4(b), los costes totales alcanzan el mínimo cuando el sistema no se avería.

Suponiendo que se han identificado todos los costes potenciales asociados al tiempo de inactividad, el personal de operaciones puede calcular teóricamente el nivel óptimo de la actividad de mantenimiento. Este análisis, evidentemente, también requiere datos históricos exactos de los costes de mantenimiento, de las probabilidades de avería y de los tiempos de reparación. El Ejemplo 4 muestra la manera de comparar los costes del mantenimiento preventivo y del mantenimiento correctivo para poder elegir la política de mantenimiento menos cara.

### Comparación de los costes de mantenimiento preventivo y correctivo

### EJEMPLO 4

Farlen & Halikman es una empresa de asesoría fiscal que está especializada en preparar nóminas. La empresa ha automatizado con éxito la mayor parte de su trabajo, utilizando impresoras de alta velocidad para procesar los cheques y para preparar informes. Sin embargo, el enfoque de informatización adoptado por la firma tiene problemas. Durante los 20 últimos meses las impresoras se averiaron con la tasa indicada en la siguiente tabla:

Número de averías	Número de meses en que se produjo ese número de averías
0	2
1	8
2	6
3	4
	Total: 20

Cada vez que las impresoras se averían, Farlen & Halikman estima que pierde una media de 300 dólares por tiempo y gastos de asistencia técnica. Una alternativa es contratar un servicio de mantenimiento preventivo. Aunque Farlen & Halikman contrate un mantenimiento preventivo, aún se producirán averías, a una *media* de una avería al mes. El precio de este servicio es de 150 dólares al mes. Para decidir si Farlen & Halikman debe contratar el mantenimiento preventivo, vamos a seguir los cuatro siguientes pasos.

- Paso 1:** Calcular el número esperado de averías (a partir del historial) si la empresa continúa como hasta ahora, sin el contrato del servicio de mantenimiento.
- Paso 2:** Calcular el coste esperado de averías al mes, sin contratar el mantenimiento preventivo.

**Paso 3:** Calcular el coste del mantenimiento preventivo.

**Paso 4:** Comparar las dos opciones y seleccionar la que tenga un coste menor.

1.

Número de averías	Frecuencia	Número de averías	Frecuencia
0	2/20 = 0,1	2	6/20 = 0,3
1	8/20 = 0,4	3	4/20 = 0,2

$$\begin{aligned} \left( \begin{array}{c} \text{Número esperado} \\ \text{de fallos} \end{array} \right) &= \sum \left[ \left( \begin{array}{c} \text{Número} \\ \text{de fallos} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{Frecuencia} \\ \text{correspondiente} \end{array} \right) \right] = \\ &= (0)(0,1) + (1)(0,4) + (2)(0,3) + (3)(0,2) \\ &= 0 + 0,4 + 0,6 + 0,6 \\ &= 1,6 \text{ fallos/mes} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Coste esperado de averías} &= \left( \begin{array}{c} \text{Número esperado} \\ \text{de averías} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{Coste} \\ \text{por avería} \end{array} \right) \\ &= (1,6)(300\$) \\ &= 480 \text{ dólares/mes} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \left( \begin{array}{c} \text{Coste de mante-} \\ \text{nimiento preventivo} \end{array} \right) &= \left[ \left( \begin{array}{c} \text{Coste esperado} \\ \text{de averías si se} \\ \text{contrata el servicio} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{Coste del contrato} \\ \text{del servicio} \end{array} \right) \right] \\ &= (1 \text{ avería/mes})(300\$) + 150 \text{ dólares/mes} \\ &= 450 \text{ dólares/mes} \end{aligned}$$

4. Como es menos caro globalmente contratar una empresa de servicio de mantenimiento (450 dólares), que no hacerlo (480 dólares), Parlen & Halikman debería contratar la empresa de servicios.

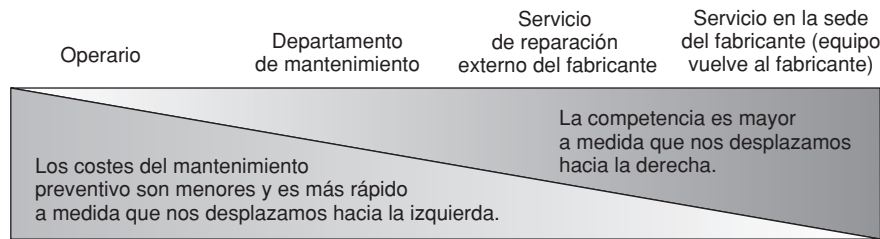
Mediante variaciones de la técnica empleada en el Ejemplo 4, los directivos de operaciones pueden examinar políticas de mantenimiento.

## Incremento de las capacidades de reparación

Debido a que la fiabilidad y el mantenimiento preventivo casi nunca son perfectos, la mayoría de las empresas optan por tener un determinado nivel de capacidad de reparación. Ampliando o mejorando las instalaciones de reparación se puede conseguir que el sistema de producción vuelva a estar operativo rápidamente. Una buena instalación de mantenimiento debe tener las seis siguientes características:

1. Personal bien formado.
2. Recursos adecuados.
3. Capacidad para establecer un plan y unas prioridades de reparación<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Usted puede recordar, de la exposición sobre planificación de redes del Capítulo 3 del volumen *Decisiones Estratégicas*, que DuPont desarrolló el método del camino crítico (CPM) para mejorar la programación de sus proyectos de mantenimiento.



**FIGURA 7.5 ■ El director de operaciones debe determinar cómo se realizará el mantenimiento**

4. Capacidad y autoridad para planificar los materiales.
5. Capacidad para identificar la causa de los fallos.
6. Capacidad para diseñar formas de aumentar el MTBF.

Sin embargo, no todas las reparaciones se pueden llevar a cabo en las instalaciones de la empresa. Los directores deben decidir, por tanto, dónde se van a realizar las reparaciones. La Figura 7.5 muestra algunas de las opciones y cómo se evalúan en función de rapidez, costes y competencia. En coherencia con las ventajas de la potenciación de los empleados, un argumento poderoso puede ser el que sean ellos quienes se encarguen del mantenimiento de su propio equipo. Sin embargo, este enfoque podría constituir el punto débil en la cadena de reparación, ya que no se puede formar a cada empleado en todos los aspectos de la reparación del equipo. En la Figura 7.5, a medida que nos desplazamos hacia la derecha, la competencia en el trabajo de reparación mejora, pero también se produce un incremento en los costes, ya que ello puede conllevar una cara reparación en el exterior con los correspondientes incrementos en el tiempo necesario para tener de nuevo disponible el activo y en el transporte.

Sin embargo, las políticas y las técnicas de mantenimiento preventivo deben hacer hincapié en que los empleados acepten la responsabilidad del mantenimiento que ellos son capaces de realizar. Puede que el mantenimiento que hacen los empleados sólo sea del tipo “limpiar, controlar y observar”, pero si cada empleado realiza estas actividades dentro de su capacidad, el director habrá subido un peldaño en el proceso de potenciación de los empleados y en el de mantener el rendimiento del sistema.

## MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

Muchas empresas han trasladado conceptos de la dirección de calidad total a la práctica del mantenimiento preventivo con un enfoque conocido como **mantenimiento productivo total (MPT)**. Conlleva la reducción de la variabilidad a través de la implicación de los empleados y de excelentes registros de mantenimiento. Además, el mantenimiento productivo total incluye:

- Diseñar máquinas fiables, fáciles de manejar y de fácil mantenimiento.
- Hacer hincapié en el coste total de propiedad cuando se compren las máquinas, de forma que el servicio y el mantenimiento estén incluidos en el coste.
- Desarrollar planes de mantenimiento preventivo, que utilicen las mejores prácticas de los operarios, de los departamentos de mantenimiento y del servicio del fabricante.
- Formar a los trabajadores para que manejen y mantengan sus propias máquinas.

### Mantenimiento productivo total (MPT)

Combina la gestión de calidad total con un enfoque estratégico del mantenimiento, desde el diseño de procesos y equipos hasta el mantenimiento preventivo.

Una alta utilización de las instalaciones, una programación rigurosa, un inventario reducido y una calidad constante requieren fiabilidad<sup>4</sup>. El mantenimiento productivo total es la clave para reducir la variabilidad y aumentar la fiabilidad.

## TÉCNICAS PARA DEFINIR POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO

Otras dos técnicas de dirección de operaciones han probado ser beneficiosas para conseguir un mantenimiento eficaz: la simulación y los sistemas expertos.

**Simulación** Debido a la complejidad de algunas decisiones de mantenimiento, la simulación por computadora es una herramienta adecuada para evaluar el impacto de diferentes políticas. Por ejemplo, el personal de operaciones puede decidir si necesita más personal determinando los equilibrios (*trade-off*) entre los costes del tiempo de inactividad de la maquinaria y los costes de la mano de obra adicional<sup>5</sup>. La dirección también puede simular la sustitución de piezas que aún no han fallado como una forma de prevenir futuras averías. También puede ser útil la simulación vía modelos físicos. Por ejemplo, un modelo físico puede hacer vibrar un avión para simular miles de horas de tiempo de vuelo para evaluar las necesidades de mantenimiento.

**Sistemas expertos** Los directores de operaciones utilizan sistemas expertos (es decir, programas informáticos que imitan la lógica humana) para ayudar al personal de mantenimiento a aislar y a reparar diferentes fallos en la maquinaria y equipos. Por ejemplo, el sistema DELTA de General Electric formula una serie de detalladas preguntas que ayudan al usuario a identificar un problema. DuPont utiliza sistemas expertos para controlar los equipos y para formar al personal de reparaciones.

### RESUMEN

Los directores de operaciones se centran en diseñar mejoras en los componentes y en disponer de componentes de respaldo (*backup*) para mejorar la fiabilidad. Las mejoras en la fiabilidad también se pueden conseguir utilizando mantenimiento preventivo y excelentes instalaciones de reparaciones.

Algunas empresas utilizan sensores automáticos y otro tipo de controles para avisar cuando la maquinaria de producción está a punto de fallar o está dañándose por calor, vibraciones, o escapes de fluidos. El objetivo de estos procedimientos no es sólo evitar los fallos, sino también llevar a cabo un mantenimiento preventivo antes de que las máquinas se averíen.

Por último, muchas empresas inculcan a sus empleados el sentido de “propiedad” de sus equipos. Cuando los trabajadores reparan o realizan el mantenimiento preventivo de sus propias máquinas, se reducen las averías. Los empleados bien formados y a los que se les han delegado competencias aseguran sistemas fiables mediante el mantenimiento preventivo. A su vez, un equipo fiable y bien mantenido no sólo proporciona una alta utilización, sino que también mejora la calidad y el cumplimiento de los programas. Las mejores empresas construyen y mantienen sistemas para que los clientes puedan disponer de los productos y servicios que se han producido según las especificaciones y puntualmente.

<sup>4</sup> Esta conclusión está respaldada por una serie de estudios; véase, por ejemplo, Kathleen E. McKone, Roger G. Schroeder y Kristy O. Cua, “The Impact of Total Productive Maintenance Practices on Manufacturing Performance”, *Journal of Operations Management* 19, n.º 1 (enero de 2001): pp. 39-58.

<sup>5</sup> Christian Striffler, Walton Hancock y Ron Turkett, “Maintenance Staffs: Size Them Right”, *IIE Solutions* 32, n.º 12 (diciembre de 2000): pp. 33-38.

**TÉRMINOS  
CLAVE**

Mantenimiento (p. 285)

Fiabilidad (p. 285)

Tiempo medio entre fallos (MTBF)  
(p. 288)

Redundancia (p. 289)

Mantenimiento preventivo (p. 290)

Mantenimiento correctivo o por avería  
(p. 291)

Mortalidad infantil (p. 291)

Mantenimiento productivo total (MPT)  
(p. 295)

## CÓMO UTILIZAR EL SOFTWARE PARA RESOLVER LOS PROBLEMAS DE FIABILIDAD

Se pueden utilizar los programas Excel y POM para Windows para resolver problemas de fiabilidad. Excel OM no dispone de un módulo para abordar estas cuestiones.



### Cómo utilizar POM para Windows

El módulo de fiabilidad de POM para Windows permite introducir (1) un determinado número de sistemas (componentes) en las series (de 1 a 10); (2) un determinado número de componentes de respaldo o paralelo (de 1 a 12); y (3) los datos de la fiabilidad de los componentes para los en serie y los en paralelo. Véase el Apéndice IV para más detalles.



## PROBLEMAS RESUELTOS

### Problema Resuelto 7.1

El semiconductor que se utiliza en la Sullivan Wrist Calculator (Calculadora de muñeca Sullivan) tiene 5 partes, y cada una de ellas tiene su propio índice de fiabilidad. El componente 1 tiene una fiabilidad del 0,90; el componente 2, del 0,95; el componente 3, del 0,98; el componente 4, del 0,90, y el componente 5, del 0,99. ¿Cuál es la fiabilidad de un semiconductor?

### Solución

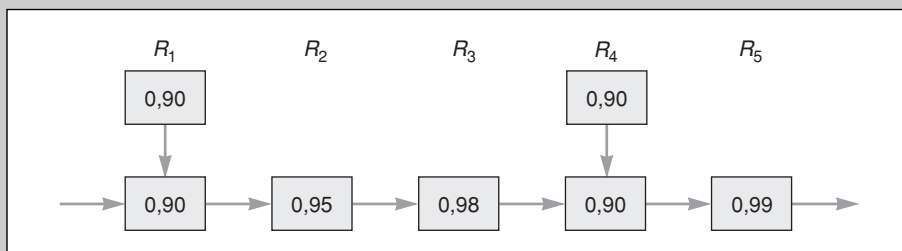
Fiabilidad del semiconductor:

$$\begin{aligned} R_s &= R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \times R_5 \\ &= (0,90)(0,95)(0,98)(0,90)(0,99) \\ &= 0,7466 \end{aligned}$$

### Problema Resuelto 7.2

Un reciente cambio de ingeniería en la Sullivan Wrist Calculator coloca un componente de respaldo (*backup*) en

cada uno de los dos transistores de menor fiabilidad del circuito. El nuevo circuito queda de la siguiente forma:



¿Cuál es la fiabilidad del nuevo sistema?

**Solución**

$$\begin{aligned}
 \text{Fiabilidad} &= [0,9 + (1 - 0,9) \times 0,9] \times 0,95 \times 0,98 \times [0,9 + (1 - 0,9) \times 0,9] \times 0,99 \\
 &= [0,9 + 0,09] \times 0,95 \times 0,98 \times [0,9 + 0,09] \times 0,99 \\
 &= 0,99 \times 0,95 \times 0,98 \times 0,99 \times 0,99 \\
 &= 0,903
 \end{aligned}$$

**EJERCICIOS EN INTERNET Y DEL CD-ROM DEL ALUMNO**

Visite nuestro sitio web o utilice su CD-ROM del alumno para obtener material sobre este capítulo.



En nuestro sitio web [www.prenhall.com/heizer](http://www.prenhall.com/heizer)

- Preguntas de autoevaluación
- Problemas de práctica
- Visita virtual a una empresa
- Problemas en Internet
- Caso de estudio en Internet



En su CD-ROM del alumno

- Lección en PowerPoint
- Problemas de práctica
- Ejercicio Active Model
- POM para Windows

**CUESTIONES PARA EL DEBATE**

1. ¿Cuál es el objetivo del mantenimiento y de la fiabilidad?
2. ¿Cómo se identifica a un candidato para mantenimiento preventivo?
3. Explique el concepto de “mortalidad infantil” en el contexto de la fiabilidad del producto.
4. ¿Por qué es a menudo la simulación una técnica adecuada para los problemas de mantenimiento?
5. ¿Dónde está el equilibrio (*trade-off*) entre el mantenimiento realizado por el operario y el mantenimiento realizado por el proveedor?
6. ¿Cómo puede un directivo evaluar la eficacia de la función de mantenimiento?
7. ¿Cómo contribuye el diseño de una máquina a aumentar o paliar un problema de mantenimiento?
8. ¿Qué papeles puede desempeñar la tecnología de la información en la función de mantenimiento?
9. Durante una discusión sobre las ventajas del mantenimiento preventivo en Windsor Printers, el propietario de la empresa preguntó: “¿Para qué vamos a arreglarlo antes de que se estropee?” ¿Qué contestaría usted como director de mantenimiento?
10. ¿Puede el mantenimiento preventivo eliminar *todas* las averías?

**DILEMA ÉTICO**

Cuando un DC-10 de McDonnell Douglas se estrelló en Iowa, la investigación posterior indicó que los sistemas hidráulicos no proporcionaban suficiente protección. El

DC-10 tiene tres sistemas hidráulicos independientes que fallaron, los tres, cuando explotó un motor. El motor desprendió trozos de metal que cortaron las tuberías de dos de



los sistemas, mientras el tercero necesitaba energía del tercer motor que ya no existía. A diferencia de otros aviones comerciales, el DC-10 no tenía válvulas de cierre que pudieran parar el flujo de fluido hidráulico. El trirreactor similar L-1011 de Lockheed tiene cuatro sistemas hidráulicos. Un vicepresidente de McDonnell Douglas dijo en

aquella ocasión: “Siempre se puede ser extremista y no llegar nunca a tener un avión que se pueda utilizar. Se puede tener una seguridad perfecta y nunca despegar”. Evalúe los pros y los contras de la postura de McDonnell. ¿Cómo diseñaría usted un experimento de fiabilidad? ¿Qué ha ocurrido a McDonnell Douglas Corporation desde entonces?



## PROBLEMAS\*

- 7.1. La unidad central de proceso de la computadora Beta II contiene 50 componentes en serie. La fiabilidad media de cada componente es del 99 por ciento. Utilizando la Figura 7.2, calcule la fiabilidad total de la unidad de proceso.
- 7.2. Un proceso de prueba de un avión Boeing tiene 400 componentes en serie. La fiabilidad media de cada componente es del 95,5 por ciento. Utilizando la Figura 7.2, ¿cuál es la fiabilidad total del proceso de prueba?
- P 7.3. ¿Cuál es el número *esperado* de averías al año para el generador de electricidad de Orlando, que ha mostrado los siguientes datos en los últimos 20 años?

Número de averías	0	1	2	3	4	5	6
Número de años en los que ha ocurrido este número de averías	2	2	5	4	5	2	0

- P 7.4. Cada avería en un trazador (*plotter*) de gráficos en Airbus Industries cuesta 50 dólares. Calcule el coste esperado de averías por día, a partir de los siguientes datos:

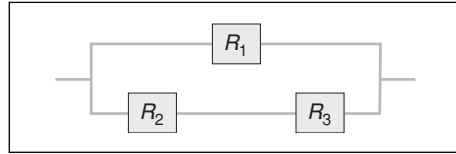
Número de averías	0	1	2	3	4
Probabilidad de averías diaria	0,1	0,2	0,4	0,2	0,1

- P 7.5. Se está diseñando un nuevo sistema de control de un avión que debe tener una fiabilidad del 98 por ciento. Este sistema tiene tres componentes en serie. Si los tres componentes deben tener el mismo grado de fiabilidad, ¿qué fiabilidad se necesita?
- 7.6. Robert Klassan Manufacturing, un fabricante de equipamiento médico, ha sometido a 100 marcapasos a 5.000 horas de prueba. A mitad de la prueba, 5 marcapasos fallaron. ¿Indique el índice de fiabilidad expresado en:
  - a) Porcentaje de fallos.
  - b) Número de fallos por hora.
  - c) Número de fallos por año.
  - d) Si estos marcapasos se colocan a 1.100 personas, ¿cuántas unidades podemos esperar que fallen durante el primer año.

\* Nota: P significa que se puede resolver el problema con el programa POM para Windows.

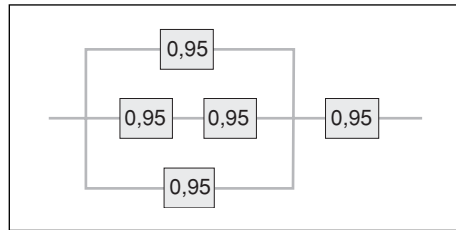
- :P** 7.7. ¿Cuál es la fiabilidad del siguiente proceso de producción?

$$R_1 = 0,95, R_2 = 0,90, R_3 = 0,98$$



- :P** 7.8. Tiene un sistema compuesto por cuatro componentes en serie. La fiabilidad de cada componente es del 0,95 por ciento. ¿Cuál es la fiabilidad del sistema?

- :P** 7.9. ¿Cuál es la fiabilidad de que los préstamos de un banco se procesen correctamente si cada uno de los 5 empleados que se muestran en el gráfico tiene la fiabilidad mostrada?

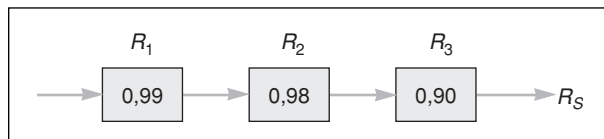


- :P** 7.10. Merrill Kim Sharp tiene un sistema compuesto por tres componentes en paralelo. Los componentes tienen las siguientes fiabilidades:

$$R_1 = 0,90, \quad R_2 = 0,95, \quad R_3 = 0,85$$

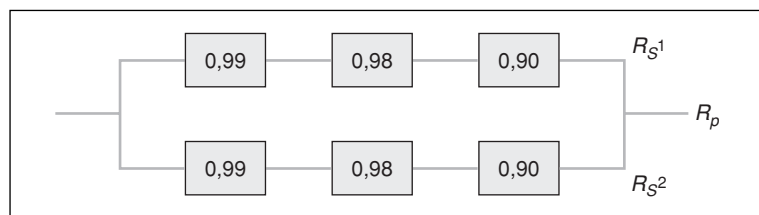
¿Cuál es la fiabilidad del sistema? (Sugerencia: véase el Ejemplo 3).

- :P** 7.11. Un sistema de control médico tiene tres componentes en serie con las fiabilidades individuales ( $R_1, R_2, R_3$ ) que se muestran:



¿Cuál es la fiabilidad del sistema?

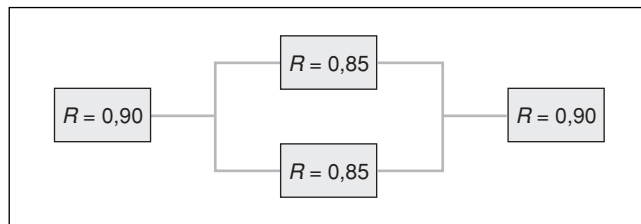
- :P** 7.12. a) ¿Cuál es la fiabilidad del sistema que se muestra a continuación?



b) ¿En cuánto mejoraría la fiabilidad del sistema de control médico del problema anterior si se cambiara al sistema paralelo redundante mostrado aquí?

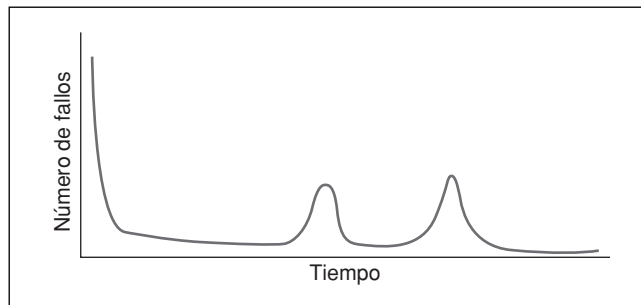
**:P 7.13.** Suponga que en la cirugía de bypass cardiaco, el 85 por ciento de los pacientes sobrevive a la operación, el 95 por ciento sobrevive al periodo de recuperación tras la intervención, el 80 por ciento consigue hacer los cambios de estilo de vida necesarios para ampliar su supervivencia a un año o más, y sólo el 10 por ciento de los que no hacen los cambios de estilo de vida sobreviven más de un año. ¿Cuál es la probabilidad de que un paciente cualquiera sobreviva más de un año?

**:P 7.14.** El equipo de diseño de Elizabeth Irwin ha propuesto el siguiente sistema, con las fiabilidades de los componentes que se indican a continuación:



¿Cuál es la fiabilidad del sistema?

**: 7.15.** El departamento de mantenimiento de Mechanical Dynamics le presenta la siguiente curva de fallos. ¿Qué sugiere?



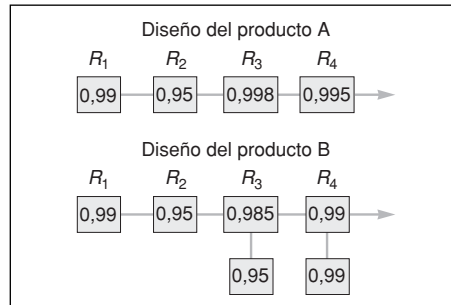
**:P 7.16.** Rick Wing, vendedor de Wave Soldering Systems, Inc. (WSSI), le ha pasado una propuesta para mejorar el control de temperatura de su máquina. La máquina utiliza una cuchilla de aire caliente para eliminar limpiamente el exceso de soldadura de las placas base; es una gran idea, pero el control de la temperatura del aire caliente carece de fiabilidad. Según Wing, los ingenieros de WSSI han mejorado la fiabilidad de los controles de la temperatura. El nuevo sistema aún conserva los cuatro sensibles circuitos integrados para controlar la temperatura, pero la nueva máquina tiene un circuito de respaldo (*backup*) para cada uno. Los cuatro circuitos integrados tienen las siguientes fiabilidades: 0,90, 0,92, 0,94 y 0,96. Todos los circuitos de apoyo tienen una fiabilidad de 0,90.

- a) ¿Cuál es la fiabilidad del nuevo controlador de la temperatura?
- b) Si usted paga una prima, Wings dice que puede mejorar las cuatro unidades de *backup* hasta 0,93. ¿Cuál es la fiabilidad de esta opción?

- 7.17. ¿Cuál es el número esperado de averías por año para una máquina de la que se tienen los siguientes datos?

Número de averías	0	1	2	3	4	5
Número de años en que se produjeron las averías	4	3	1	5	5	0

- 7.18. Como Vicepresidente de operaciones de Brian Normoyle Engineering, tiene que decidir qué diseño de producto, el A o el B, tiene más fiabilidad. B está diseñado con unidades de respaldo para los componentes R3 y R4. ¿Cuál es la fiabilidad de cada diseño?



- 7.19. Una transacción típica en un comercio detallista está compuesta de varias partes, que se pueden considerar componentes susceptibles de fallo. Una relación de estos componentes podría ser:

Componente	Descripción	Definición del fallo
1	Encontrar el producto con el tamaño, color, etc., adecuado	No se puede encontrar el producto
2	Colocarse en la cola de una caja	No hay cajas abiertas; hay colas demasiado largas; la cola tiene problemas
3	Escanear el código de barras del producto para ver nombre, precio, etc.	No se puede escanear; el artículo no está en los archivos; se escanea incorrectamente el nombre o el precio
4	Cálculo del total de la compra	Peso equivocado; entrada de datos incorrecta; impuestos incorrectos
5	Efectuar el pago	El cliente no tiene efectivo; el cheque no es aceptable; tarjeta de crédito rechazada
6	Dar el cambio	Se da un cambio incorrecto
7	Meter la mercancía en una bolsa	Se daña la mercancía al meterla en la bolsa; se rompe la bolsa
8	Concluir la transacción y salir	No se entrega el recibo; vendedor distante, antipático, maleducado

Suponga que las ocho probabilidades de éxito son 0,92, 0,94, 0,99, 0,99, 0,98, 0,97, 0,95 y 0,96. ¿Cuál es la fiabilidad del sistema, es decir, la probabilidad de que el cliente se vaya satisfecho? Si fuera usted el director de la tienda, ¿cuál cree que debería ser un valor aceptable para esta probabilidad? ¿Qué componentes serán buenos candidatos para tener un respaldo, y cuáles para rediseñar?



## PROBLEMAS PARA RESOLVER CON INTERNET

Visite en nuestro sitio web [www.prenhall.com/heizer](http://www.prenhall.com/heizer) los problema adicionales: 7.20 a 7.24.

### ■ *Caso de estudio* ■

#### Worldwide Chemical Company

Jack Smith se secó el sudor de la cara. Era otro de esos días de verano infernalmente caluroso, y una de las cuatro unidades de refrigeración estaba estropeada. Las unidades eran esenciales para el funcionamiento de la planta de fibras de Worldwide Chemical Company, que produce fibras sintéticas y copos de polímeros para un mercado global.

Poco después, Al Henson, encargado del turno de día, estaba gritando por el interfono su familiar proclama, “rodarán cabezas” si la unidad no entra en funcionamiento dentro de una hora. Sin embargo, Jack Smith, el encargado de mantenimiento, había escuchado siempre lo mismo, pero nunca pasaba nada después de las pataletas de Henson. “Le está bien merecido –pensó–. Henson nunca está dispuesto a cooperar cuando queremos realizar mantenimiento planificado; por lo tanto, no se consigue hacer nunca y el equipo se avería”.

Sin embargo, en aquel momento, Henson estaba verdaderamente furioso por el impacto que la avería podría tener en las cifras de rendimiento de su proceso. Reunido con la directora de la planta, Beth Conner, acusó a todo el departamento de mantenimiento de haber estado sin hacer nada y jugando a las cartas, como si fueran bomberos que esperasen el sonido de una alarma para ir con sus tres centelleantes luces por toda la ciudad. Este enfoque de mantenimiento “de arreglarlo cuando se estropea”, le estaba costando a la planta producción que era vital para cumplir con los costes estándares y para evitar importantes desacuerdos. Los competidores extranjeros estaban entregando fibras de alta calidad en menos tiempo y a precios más bajos. Conner ya había sido llamado a capítulo en la sede central de la empresa porque los niveles de producción estaban significativamente por debajo de lo presupuestado. El ciclo del negocio contiene variacio-

nes estacionales predecibles. Esto significa crear inventarios que deben ser mantenidos durante meses, inmovilizando un capital que es escaso, una característica de la mayoría de los procesos continuos. Los envíos mensuales no parecían ir bien. Los envíos anuales hasta la fecha aún iban peor, debido a las averías de las máquinas y a la pérdida de producción. Conner sabía que tenía que hacer algo para conseguir fiabilidad en la maquinaria. Era necesario ser capaz de responder a la demanda para poder hacer frente a la creciente competencia extranjera. Un equipo de producción poco fiable estaba poniendo en peligro el esfuerzo de gestión de calidad total de la empresa, provocando variaciones en el proceso, que afectaban tanto a las producciones de productos de primera de calidad como al cumplimiento de los plazos de entrega. Pero parecía que nadie tenía la respuesta para el problema de las averías de las máquinas.

El departamento de mantenimiento funcionaba como si fuera el cuerpo de bomberos, corriendo hacia una avería con una multitud de mecánicos. Algunos desmontaban la máquina, mientras que otros estudiaban minuciosamente los planos de la instalación eléctrica, y otros buscaban piezas de repuesto en el almacén de mantenimiento. Al final, conseguían arreglar la máquina, aunque algunas veces sólo tras trabajar toda la noche para conseguir que la línea de producción funcionase de nuevo. El mantenimiento siempre se ha hecho de esta manera. Sin embargo, con los nuevos competidores, la fiabilidad de la maquinaria se ha convertido repentinamente en la principal barrera para poder competir con éxito.

Están empezando a circular rumores de que la planta va a cerrar, lo que está afectando a la moral, haciendo más difícil conseguir un buen rendimiento de la misma. Beth Conner sabía que necesitaba soluciones para que la planta tuviera alguna posibilidad de supervivencia.

### Preguntas para el debate

1. ¿Pueden Smith y Henson hacer algo para mejorar el rendimiento?
2. ¿Existe alguna alternativa para el actual enfoque de operaciones del departamento de mantenimiento?
3. ¿Cómo podría producción recuperar la pérdida de output que resultase de un mantenimiento planificado?
4. ¿Cómo se podrían utilizar mejor los mecanismos de mantenimiento?
5. ¿Existe algún modo de averiguar cuándo es probable que se averíe una máquina?

Fuente: Patrick Owings bajo la supervisión de la profesora Marilyn M. Helms, de la Universidad de Tennessee en Chattanooga.

## ■ CASOS DE ESTUDIO ADICIONALES ■

Visite nuestra página personal [www.prenhall.com/heizer](http://www.prenhall.com/heizer) para ver los siguientes casos prácticos de estudio:

- **Cartak's Department Store (Los grandes almacenes Cartak):** Exige la evaluación del impacto de un verificador de facturas adicional.
- **Harvard ha seleccionado estos casos de la Harvard Business School para acompañar este capítulo ([textbookcasematch.hbsp.harvard.edu](http://textbookcasematch.hbsp.harvard.edu)):**
  - **The Dana-Farber Cancer Institute. (#699-025):** Analiza las características organizativas y de proceso que podrían haber contribuido a que se produjera un error médico.
  - **Workplace Safety at Alcoa (A) [Seguridad laboral en Alcoa (A)] (#692-042):** Estudia el reto que afronta un directivo de una importante fábrica de aluminio en su esfuerzo por mejorar la seguridad.
  - **A Brush with AIDS (A) [Un cepillo con SIDA (A)] (#394-058):** Dilema ético cuando las agujas atraviesan la pared del envase.



## BIBLIOGRAFÍA

- Ahire, Sanjay, Garrison Greenwood, Ajay Gupta, y Mark Terwilliger. "Workforce-Constrained Preventive Maintenance Scheduling Using Evolution Strategies". *Decision Sciences* 31, n.º 4 (otoño 2000): pp. 833-859.
- Ambs, Ken, *et al.* "Optimizing Restoration Capacity in the AT&T Network". *Interfaces* 30, n.º 1 (enero-febrero 2000): pp. 26-44.
- Blank, Ronald. *The Basics of Reliability*. University Park, IL: Productivity Press, 2004.
- Condra, Lloyd W. *Reliability Improvement with Design of Experiments*, 2.ª ed. New York: Marcel Dekker, 2001.
- Cua, Kristy O., Kathleen E. McKone, y Roger G. Schroeder. "Relationships between Implementation of TQM, JIT, and TPM and Manufacturing Performance". *Journal of Operations Management* 19, n.º 6 (noviembre 2001): pp. 675-694.
- Keizers, Joris M., J. Will M. Bertrand, y Jaap Wessels. "Diagnosing Order Planning Performance at a Navy Maintenance and Repair Organization, Using Logistic Regression". *Production and Operations Management* 12, n.º 4 (invierno 2003): pp. 445-463.
- Ravinder, H. V. y Carl R. Schultz. "Decision Making in a Standby Service System". *Decision Sciences* 31, n.º 3 (verano 2000): pp. 573-593.
- Sova, Roger, y Lea A. P. Tonkin. "Total Productive Maintenance at Crown International". *Target: Innovation at Work* 19, n.º 1 (tercer trimestre 2003): pp. 41-44.
- Westerkamp, Thomas A. "Plan for Maintenance Productivity". *IIE Solutions* 33, n.º 8 (agosto 2001): pp. 36-41.